

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

๑๑

การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน  
จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร



T107785

นางสาวจตุพร ศักธา  
นายธนุเวทย์ ลมงาม

๒/๗  
๑ ๒๙๓ ก  
๒๕๔๙

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....107785  
วัน,เดือน,ปี.....14 มี.ค. 2553

b. 1221250๓  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **Thermal Insulation Sheet from Agricultural Waste**

**Miss. Jutiporn Sattha**

**Mr. Thanuvate Lomngam**



**A Special Project submitted in Partial Fulfillment of the Requirement**

**the Degree of Bachelor of Science**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**Academic Year 2006**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อโครงการพิเศษ	การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร		
นักศึกษา	นางสาวจตุพร ศัทธา	รหัส 46050749	
	นายธนเวทย์ ลมงาม	รหัส 46050758	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล		
	อาจารย์ธรมณีย์ หวังศิธรรม		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2549		

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิต และสมบัติของแผ่นวัสดุกันความร้อน ที่ใช้ฟางข้าวและหญ้าแฝกเป็นวัตถุดิบ และใช้แคลเซียมซัลเฟต เป็น สารยึดติด การผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อนกระทำโดยวิธีการขึ้นรูปโดยใช้ตะแกรง โดยแผ่นที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบชั้นเดียวมีขนาดกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และหนา 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร จากการศึกษากระบวนการผลิต พบว่า สภาวะการต้มเยื่อฟางข้าวที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 14% และสภาวะการต้มเยื่อหญ้าแฝกที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 16% อัตราส่วนน้ำ : วัตถุดิบ 8:1 เวลาที่ใช้ 3 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อเพื่อผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อน สัดส่วนเยื่อต่อปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5 :1 และ 2 :1 ตามลำดับ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าวจัดเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีประเภทหนึ่ง ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่มีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.1000 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ขึ้นอยู่กับปริมาณเยื่อ และปริมาณสารยึดติด ค่าการนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของเยื่อเพิ่มขึ้น และปริมาณสารยึดติดลดลง ซึ่งให้เห็นว่า แผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตโดยใช้ปริมาณสารยึดติด 2:1 มีสมบัติความเป็นฉนวนที่ดี นอกจากนี้ผลการทดสอบหญ้าแฝกมีสมบัติความเป็นฉนวนที่ดีกว่าฟางข้าว เนื่องจากที่ค่าความหนาใกล้เคียงกัน ประมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของหญ้าแฝก เป็น 0.0783, 0.0770, 0.0796, 0.0835 และ 0.0847 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟางข้าว เป็น 0.0789, 0.0836, 0.0935, 0.0931 และ 0.0967 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ตามลำดับ

**คำสำคัญ :** วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร, ฟางข้าว, หญ้าแฝก, แผ่นฉนวนความร้อน,

กรรมวิธีการผลิต, ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, แคลเซียมซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Special Project Title</b>	Thermal Insulation Sheet from Agricultural Waste		
<b>Name</b>	Jutiporn	Sattha	46050749
	Thanuvate	Lomngam	46050758
<b>Department</b>	Chemistry		
<b>Faculty</b>	Science		
<b>Program</b>	Environmental Resource Chemistry		
<b>Academic Year</b>	2006		
<b>Special Project Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr. Nipon Wongvisetsirikul Ajarn Romani wungdheethum		

### Abstract

The purpose of this special project was to study the production process and the properties of the heat insulation sheet which made of rice straw and vetiver grass by which the calcium sulfate ( $\text{CaSO}_4$ ) was used as the binder substance. The production of the heat insulation sheet was done by forming the sheet using sieve. The sheets produced were in flat shape with one layer and the size of 24 centimeters in width, 30 centimeters in length and 2,4,6,8 and 10 millimeters in thickness. According to the study of the production process, it was found that the condition on boiling rice straw fiber with the concentration of potassium hydroxide at 14% and the condition on boiling vetiver grass fiber with the concentration of potassium hydroxide at 16% with the ratio of water and materials at 8:1 and the time used of 3 hours was the suitable condition to prepare the fiber for the heat insulation sheet production. The ratio of fiber and the binder substance was 1:1, 1.5:1 and 2:1, respectively.

According to the experimental results, they showed that the heat insulation sheets made of vetiver grass and rice straw were the kinds of good quality heat insulation. Since their coefficient values for heat induction were not over 0.1000 W/ m.K in average which depended on the amount of fiber and the binder substance. The heat induction of the heat insulation sheet tended to decreased when the amount of fiber increased and the amount of the binder substance decreased. This indicated that the heat insulation sheet produced with the ratio of the binder substance at 2:1 would have good properties for insulation. Moreover, it was found from the experimental result that the vetiver grass had better properties as the insulation compared to the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rice straw. Since its thickness was nearly the same at about 2,4,6,8 and 10 millimeters. The co-efficient value for heat insulation of the vetiver grass were 0.0783, 0.0770, 0.0796, 0.0835 and 0.0847 W/ m.K respectively which were less than the co-efficient value for heat insulation of the rice straw at 0.0789, 0.0836, 0.0935, 0.0931 and 0.0967 W/ m.K, respectively.

**Keywords :** agricultural residues, rice straw, vetiver grass, thermal insulation boards manufacturing, thermal conductivity, calcium sulfate



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ ดังนี้  
คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษได้รับความอนุเคราะห์ซึ่งใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ธรมณีย์ หวังดิษฐรม อาจารย์ร่วมที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำตลอดจนให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการพิเศษนี้ ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในระหว่างการดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ พี่ ๆ เจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการพิเศษเป็นอย่างดี

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์และให้กำลังใจตลอดโครงการพิเศษนี้ ทางผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ

จตุพร ศัทธา

ธนุเวทย์ ลมงาม

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ค
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ฉนวนกันความร้อน	3
2.1.1 ประเภทและลักษณะการใช้งานของฉนวนกันความร้อน	4
2.1.2 คุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนที่ดี	5
2.1.3 คุณลักษณะเฉพาะของฉนวนกันความร้อน	6
2.2 แหล่งที่มาของเส้นใยพืชในการผลิตฉนวนกันความร้อน	10
2.3 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers)	12
2.4 หญ้าแฝก (Vetiver grass)	15
2.4.1 พันธุ์หญ้าแฝก	16
2.4.2 การขยายพันธุ์หญ้าแฝก	18
2.4.3 สมบัติที่ดีของหญ้าแฝก	20
2.4.4 การใช้ประโยชน์หญ้าแฝก	20
2.5 ฟางข้าว (Rice straw)	23
2.5.1 ประโยชน์ของฟางข้าว	24
2.5.2 คุณสมบัติของฟางข้าว	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 แคลเซียมซัลเฟต(Calcium sulfate)	25
2.7 กระบวนการผลิตวัสดุกันความร้อน	26
2.8 การใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	28
2.9 ค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (Kappa number)	28
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
<b>บทที่ 3 วิธีการทดลอง</b>	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	32
3.2 เครื่องมือวิเคราะห์	32
3.3 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง	32
3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	33
3.5 การเตรียมสารละลายในการหาค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (Kappa number)	33
3.6 วิธีการทดลอง	34
3.6.1 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของหญ้าแฝกและฟางข้าว	34
3.6.2 การหาสถานะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว	34
3.6.3 การหาปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ(Kappa number)	35
3.6.4 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน	36
3.6.5 การทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน	37
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	
4.1 ผลการหาสถานะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว	38
4.2 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน	43
4.2.1 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติด	43
4.2.2 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวผสมสารยึดติด	45
4.2.3 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกผสมสารยึดติด	46
4.3 ผลการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการเปรียบเทียบแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผสมสารยึดติด กับไม่ผสมสารยึดติด	50
4.5 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ ผลิตได้ กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์	51
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	54
5.1.1 การหาสถานะในการต้มเยื่อหุ้มาแฟและฟางข้าว	54
5.1.2 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน	54
5.1.2.1 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติด	
5.1.2.2 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าว ผสมสารยึดติด	
5.1.2.3 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหุ้มาแฟ ผสมสารยึดติด	
5.1.3 การทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน	55
5.1.4 การเปรียบเทียบแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผสมสารยึดติด กับไม่ผสมสารยึดติด	55
5.1.5 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ ผลิตได้ กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์	56
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะการดำเนินงานวิจัย	56
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	57
<b>ภาคผนวก ก</b> คำที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเยื่อ	60
<b>ภาคผนวก ข</b> การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น, การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และการหา เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของวัตถุดิบ	61
<b>ภาคผนวก ค</b> การหาสถานะเยื่อ	63
<b>ภาคผนวก ง</b> การหาค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ(Kappa number)	64
<b>ภาคผนวก จ</b> การหาอัตราส่วนเยื่อในการขึ้นรูป	65
<b>ภาคผนวก ฉ</b> การหาสถานะในการต้มเยื่อหุ้มาแฟและฟางข้าว	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
ภาคผนวก ช	การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน	68
ภาคผนวก ซ	การทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน	72
ภาคผนวก ฉ	การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity ; k) ของฉนวนใยแก้ว	6
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity ; k) ของฉนวนเซรามิกชนิดยัดหุ้มสูง	9
ตารางที่ 2.3 แสดงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อในประเทศไทย	11
ตารางที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน	11
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบลักษณะที่แตกต่างของหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอน	17
ตารางที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของใบหญ้าแฝก	18
ตารางที่ 2.7 ส่วนประกอบทางเคมีของฟางข้าว	25
ตารางที่ 2.8 ตารางแสดงคุณสมบัติของแคลเซียมซัลเฟต	26
ตารางที่ 3.1 Factors a to correct for different percentages of permanganate used	36
ตารางที่ 4.1 แสดงสถานะในการต้มเยื่อของหญ้าแฝกและฟางข้าว	38
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆของหญ้าแฝกและฟางข้าวที่ไม่ผสมสารยัดติด	43
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆที่ปริมาณสารยัดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของฟางข้าว	45
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆที่ปริมาณสารยัดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก	46
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยัดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของหญ้าแฝกและ ฟางข้าวที่ผสมปริมาณสารยี่ดติดในอัตราส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 และที่ไม่ผสมสารยี่ดติด	50
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากหญ้าแฝกและ ฟางข้าวกับแผ่นวัสดุประเภทอื่นๆ	52
ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้ กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์	53
ตารางที่ ง 1.1 Factors a to correct for different percentages of permanganate used	64
ตารางที่ ฉ 1.1 ข้อมูลการหาสถานะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว	66
ตารางที่ ช 1.1 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน ไม่ผสมสารยี่ดติดของฟางข้าว(R)	68
ตารางที่ ช 1.2 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน ไม่ผสมสารยี่ดติดของหญ้าแฝก(G)	68
ตารางที่ ช 1.3 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยี่ดติด 1:1 ของฟางข้าว(R1)	69
ตารางที่ ช 1.4 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยี่ดติด 1.5:1 ของฟางข้าว(R2)	69
ตารางที่ ช 1.5 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยี่ดติด 2:1 ของฟางข้าว(R3)	70
ตารางที่ ช 1.6 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยี่ดติด 1:1 ของหญ้าแฝก(G1)	70
ตารางที่ ช 1.7 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยี่ดติด 1.5:1 ของหญ้าแฝก(G2)	71
ตารางที่ ช 1.8 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยี่ดติด 2:1 ของหญ้าแฝก(G3)	71
ตารางที่ ช 1.1 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อนผสม สารยี่ดติด 1:1 ของฟางข้าว(R1)และหญ้าแฝก(G1)	72
ตารางที่ ช 1.2 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อนผสม สารยี่ดติด 1.5:1 ของฟางข้าว(R2)และหญ้าแฝก(G2)	73
ตารางที่ ช 1.3 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อนผสม สารยี่ดติด 1:1 ของฟางข้าว(R3)และหญ้าแฝก(G3)	73

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ฉนวนประเภทเซลลูโลส	3
รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส	12
รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	14
รูปที่ 2.4 หน่วยซ้ำของลิกนิน และ โครงสร้างลิกนินของไม้เนื้ออ่อน	14
รูปที่ 2.5 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินในไม้	15
รูปที่ 2.6 รูปถ่ายหญาแปกคอน	15
รูปที่ 2.7 ผลิตภัณฑ์จากหญาแปก	21
รูปที่ 2.8 ผลิตภัณฑ์จากฟางข้าว	24
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนิน ที่เหลือตกค้างในเชื้อหลังการต้มฟางข้าวกับร้อยละของผลผลิต	39
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% กับร้อยละผลผลิตของฟางข้าว	40
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% กับตัวเลขแสดงค่าปริมาณสาร ลิกนินที่เหลือตกค้างในเชื้อหลังการต้มฟางข้าว	40
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนิน ที่เหลือตกค้างในเชื้อหลังการต้มหญาแปกกับร้อยละของผลผลิต	41
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% กับร้อยละผลผลิตของหญาแปก	42
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ 12%, 14%, 16% และ 18% กับตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนิน ที่เหลือตกค้างในเชื้อหลังการต้มหญาแปก	42
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนา ของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆ	43
รูปที่ 4.8 แสดงการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากตะแกรงขึ้นรูป	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของฟางข้าว	45
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาตรของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก	47
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก (G1) และฟางข้าว (R1)	48
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาตรของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1.5:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก (G2) และฟางข้าว (R2)	49
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาตรของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก (G3) และฟางข้าว (R3)	49

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ในปัจจุบัน ปัญหาสิ่งแวดล้อมนับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของขยะหรือวัสดุตกค้างที่ย่อยสลายได้ยากในสิ่งแวดล้อม เช่น พลาสติก ทำให้ต้องหาวัสดุมาทดแทนพวกพลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ที่มีคุณสมบัติและความเหมาะสมของงาน อีกทั้งเพื่อเป็นการประหยัดการใช้พลังงานจากปิโตรเลียม แนวทางหนึ่งที่สามารถประหยัดพลังงานโดยการใช้วัสดุทดแทนจากธรรมชาติและสิ่งเหลือทิ้ง คือการนำเอาวัสดุเหล่านี้ทำเป็น ฉนวนกันความร้อน ซึ่งสามารถนำมาเป็นส่วนหนึ่งของการนำมาสร้างเป็นผนังห้อง

เส้นใยแก้วสังเคราะห์ คือสิ่งที่ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนของผนังห้องที่นิยมใช้มากที่สุด ในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติของฉนวนและสามารถผลิตได้ด้วยกรรมวิธีทางอุตสาหกรรมได้ครั้งละเป็นจำนวนมาก แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการนำเอาเส้นใยแก้วสังเคราะห์มาใช้นั้น ทำให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นเส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากพลาสติกจึงเป็นเหตุให้เกิดการย่อยสลายยากเมื่อเส้นใยนี้เสื่อมคุณภาพหรือใช้งานต่อไม่ได้ กลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่จะทำลายสิ่งแวดล้อมต่อไป

การนำเอาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มาทำเป็นฉนวนและผนังห้อง เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ในการใช้ทรัพยากรทดแทนเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า หรือลดปริมาณขยะ

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือหญ้าแฝกและฟางข้าว มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อน
2. เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
3. เพื่อศึกษาวิธีการขึ้นรูปแผ่นฉนวนในขั้นพื้นฐาน เพื่อใช้ในการผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อน
4. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ได้จากวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาการใช้วัสดุเหลือทิ้งประเภทเส้นใยเช่น หญ้าแฝก ฟางข้าว ในการผลิตเยื่อเพื่อเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อน
2. ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยจากวัสดุเหลือทิ้งเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อน
3. ศึกษาการทดลองขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนขึ้นพื้นฐาน
4. ศึกษาการทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า  $k$ ) ของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ขึ้นรูป

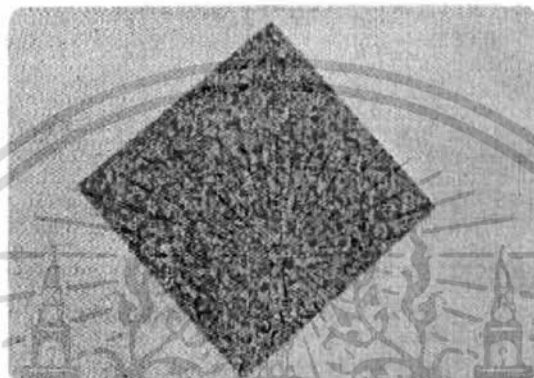
### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เพื่อให้ได้กรรมวิธีในการผลิตเยื่อจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทเส้นใย เพื่อใช้ในการผลิตวัสดุกันความร้อน
- เพื่อให้ได้กรรมวิธีพื้นฐานในการผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ฉนวนกันความร้อน [1]



รูปที่ 2.1 ฉนวนประเภทเซลล์โลส

**ฉนวนกันความร้อน** คือ วัสดุที่ต้านทานหรือป้องกันมิให้พลังงานความร้อนส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้สะดวก ฉนวนกันความร้อนที่ดีจะเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ซึ่งประกอบด้วยฟองอากาศเล็ก ๆ จำนวนมาก ฟองอากาศดังกล่าว มีคุณสมบัติในการต้านทานการนำความร้อน โดยสกัดกั้นความร้อนให้อยู่ในบริเวณฟองอากาศเล็กๆจำนวนมากนี้ จึงเป็นผลให้ไม่เกิดการพาความร้อนด้วย

ฉนวนแต่ละชนิดจะมีความต้านทานความร้อนที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งฉนวนที่ดีจะต้องต้านทานความร้อนที่ผ่านจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งให้ลดลงเหลือน้อยที่สุด ทั้งนี้ถ้า ค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อน (ค่า  $k$ ) ยิ่งน้อย แสดงว่าเป็นฉนวนที่สามารถต้านทานความร้อนได้ดีกว่า

การปรับปรุงบ้านให้เกิดสถานะน่าสบายโดยการเลือกใช้วัสดุกันความร้อน ก็จะช่วยทำให้ประหยัดพลังงานได้ ปัจจุบันเกือบทุกอาคารหรือในบ้านพักอาศัยใช้ฉนวนกันความร้อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารหรือในบ้านให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ซึ่งการเลือกใช้ฉนวนควรพิจารณาจากความสามารถในการป้องกันความร้อน ลักษณะของฉนวน เช่น เป็นม้วน , เป็นแผ่น หรือเป็นฝอย เป็นต้น ต่อมาก็คือ ความหนาแน่นและน้ำหนัก กรณีฉนวนที่มีความหนาแน่นมาก ราคา ก็จะแพงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าใช้ติดตั้งทำให้พื้นที่ใช้สอยน้อยลง แต่จะประหยัดพลังงานได้มาก ดังนั้น การเลือกใช้ควรจะคำนึงถึงความจำเป็นในการติดตั้งเป็นสำคัญ และการเลือกใช้ฉนวนควรพิจารณาจากช่วงอุณหภูมิของการใช้งาน การยืดหดตัวเมื่อได้รับความร้อน การกันน้ำและความชื้น และความสามารถต่อแรงอัดและความทนทาน ซึ่งฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภทก็จะมีคุณสมบัติ และลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน

### 2.1.1 ประเภท และลักษณะการใช้งานของฉนวนความร้อน [1,2]

ฉนวนใยแก้วหรือไฟเบอร์กลาส ที่ส่วนใหญ่นำมาใช้และเป็นที่รู้จักกันดีนั้น ลักษณะเด่นคือเป็นเส้นใยสีเหลืองทำเป็นแผ่นหรือเป็นม้วน บางชนิดก็ทำติดไว้กับแผ่นแข็ง ๆ หรือมีแผ่นพอยลด์อยู่ด้านใดด้านหนึ่ง หรือไม่มีแผ่นพอยลด์หุ้มอยู่ทุกด้านคล้ายกับการบรรจุอยู่ในถุง ฉนวนประเภทนี้นอกจากจะกันความร้อนได้ และมีค่าการกันไฟได้สูงถึง 300 องศาเซลเซียสแล้ว ยังกันเสียงได้อีกด้วย แต่ก็มีข้อเสียคือ แพ้ความเปียกชื้นหากเส้นใยถูกความชื้นหรือหยดน้ำ ก็จะยุบตัวแบนติดกัน ทำให้ไม่สามารถป้องกันความร้อนได้ และหากคนที่แพ้เส้นใยสัมผัสหรือแตะถูกโดยตรง อาจเกิดอาการคันและระคายเคืองได้ ดังนั้น การเลือกใช้ฉนวนใยแก้วหากไม่ต้องการให้เส้นใยโดนตัว ก็อาจจะเลือกใช้ชนิดที่มีพอยลด์หุ้ม

ฉนวนรีอคูลู มีรูปร่างเป็นแผ่น หรือก้อนทึบ การกันความร้อนนั้นเหมือนฉนวนใยแก้ว แต่สามารถทนไฟได้ดีกว่า และที่เด่นอีกอย่างคือ ความสามารถในการดูดซับเสียง บางครั้งมีการนำไปติดกับผนังห้องที่ต้องการควบคุมเสียงและใช้ฝ้าบุด้านหน้า เพื่อตกแต่งให้สวยงาม ข้อเสียก็เช่นเดียวกับฉนวนใยแก้วคือแพ้ความเปียกชื้น

ฉนวนประเภทเซลลูโลส เป็นฉนวนที่ทำมาจากเยื่อไม้หรือเยื่อกระดาษ ซึ่งต้องมีการใส่สารป้องกันการลุกไหม้หรือการลามของไฟ ที่พบเห็นส่วนใหญ่มักเป็นชนิดพ่นในช่องว่างหลังคาหรือฝ้าเพดาน การกันความร้อนดีพอๆ กับฉนวนใยแก้วและฉนวนรีอคูลู แต่การทำงานในลักษณะที่เราต้องพ่นเข้าไปในหลังคา ค่อนข้างยาก เนื่องจากความหนาที่ต้องการมักจะหนากว่า 2 นิ้ว ทำให้ควบคุมการพ่นฉนวนให้หนาตามที่ต้องการทำได้ลำบาก

ฉนวนอลูมินัมพอยลด์ คือ ฉนวนสะท้อนความร้อนประเภทที่มีผิวมันวาว มีลักษณะเป็นแผ่นอลูมินัมพอยลด์ ที่ใช้วางได้หลังคา สามารถป้องกันความร้อนได้โดยการสะท้อนรังสีความร้อนออกไปก่อนที่ความร้อนจะเข้ามาสะสมในเนื้อวัสดุ อีกทั้งลักษณะของฉนวนที่เป็นแผ่นบางทำให้ฉนวนไม่เกิดการสะสมความร้อน ดังนั้น หากผิวฉนวนหมดความเป็นมันวาว เช่น มีฝุ่นเกาะ ก็จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ไม่เกิดการสะท้อนความร้อน และส่งผลให้ฉนวนไม่สามารถป้องกันความร้อนได้ และคุณสมบัติของฉนวนประเภทโพลีมีนัมพอยล์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การที่ฉนวนสามารถแผ่รังสีความร้อนออกมาได้น้อย ซึ่งหากติดตั้งฉนวนได้หลังคา ก็จะทำให้ความร้อนถ่ายเทลงมาในบ้านน้อยด้วย และหากต้องการให้ป้องกันความร้อนได้ดียิ่งขึ้น ควรจะติดตั้งให้มีช่องว่างอากาศระหว่างแผ่นพอยล์กับฝ้าเพดาน ไม่น้อยกว่า 1 นิ้วด้วย

ฉนวนประเภทโฟม มีทั้งชนิดที่เป็นแผ่นเช่น โพลีเอทิลีน หรือชนิดที่ใช้ฉีกพัน เช่น โฟมโพลียูรีเทน ซึ่งเป็นฉนวนที่สามารถป้องกันความร้อนได้ดีเหมือนฉนวนใยแก้วและฉนวนร็อกวูล แต่ฉนวนประเภทโฟมจะมีข้อดีกว่าตรงที่โฟมสามารถป้องกันน้ำและกันความชื้นได้ แต่ก็มีข้อเสียอยู่บ้างคือ ฉนวนประเภทโฟมจะแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือรังสียูวีของดวงอาทิตย์ ดังนั้น หากนำไปใช้ต้องไม่ให้ถูกแสงแดดโดยตรง ที่สำคัญคือ ฉนวนประเภทโฟมหากโดนความร้อนสูงหรืออยู่ในที่ ที่มีอุณหภูมิสูงนานๆ ก็จะบิดงอหรืออาจลุกไหม้ได้ เนื่องจากจุดหลอมเหลวของโฟมนั้นมักจะต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส

ฉนวนประเภทอื่น ๆ ที่สามารถนำมาเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ แต่มีคุณภาพไม่ดีเท่าประเภทที่ทำมาจากใยแก้ว เช่น ประเภทอิฐมวลเบา และแผ่นยิปซัมบอร์ด เป็นต้น

ดังนั้น หากจะเลือกใช้ฉนวนจึงควรพิจารณาเลือกใช้ให้ถูกประเภทและลักษณะการใช้งาน เพื่อประโยชน์สูงสุดที่จะได้รับ ที่สำคัญช่วยให้ผู้อยู่อาศัยเกิดสภาวะสบายได้โดยไม่ต้องเปิดพัดลมหรือเครื่องปรับอากาศให้สิ้นเปลืองทั้งพลังงานและค่าไฟฟ้า

### 2.1.2 คุณสมบัติของฉนวนความร้อนที่ดี

ฉนวนความร้อนจะต้องเลือกใช้ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์กับงาน และตามชนิดของฉนวน ซึ่งคุณสมบัติที่ได้นั้นพิจารณาได้ดังนี้

1. ควรมีน้ำหนักเบาและมีค่าความหนาแน่นน้อย
2. มีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำกล่าวคือยอมให้ความร้อนผ่านตัวฉนวนได้น้อยมาก
3. ในบางชนิดจะต้องมีความคงทนต่อแรงดึงและแรงอัด ได้ดี
4. มีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำมากหรือไม่มีเลยจะดีมาก
5. สามารถต้านการกัดกร่อนได้ดี โดยเฉพาะทางเคมี
6. มีความคงตัวสูง เปลี่ยนรูปได้ยาก
7. ต้องทนต่อการติดไฟได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ใช้กับระดับอุณหภูมิที่กว้าง
9. ติดตั้งเพื่อใช้งาน ได้สะดวก
10. มีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย

ปัจจุบันมีการผลิตฉนวนกันความร้อนในหลายรูปแบบขึ้น เพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน ประเภทต่างๆเป็นจำนวนมาก ต่อไปจะกล่าวถึงฉนวนกันความร้อนบางชนิดที่สำคัญและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนี้

1. โยแก้ว (Glass fiber)
2. โยแร่ (Mineral fiber)
3. โยเซลลูโลส (Cellulose fiber)
4. แคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate)
5. โฟม (Foam)
6. ฟอยล์ (Foil)
7. เวอร์มิคิวไลท์ (Vermiculite)

### 2.1.3 คุณสมบัติเฉพาะของฉนวนกันความร้อน

1. ฉนวนกันความร้อนแบบฉนวนใยแก้ว ( Glass wool ) สำหรับใช้ทำฉนวนหุ้มท่อ และ พื้นผิว เช่น บุใต้หลังคาหรือเหนือฝ้าเพดาน ฯ ให้ใช้ฉนวนที่มีคุณสมบัติดังนี้

1. ได้มาตรฐานตามมาตรฐาน มอก. 486, มอก. 487, มอก. 488 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
2. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity : k) ไม่เกินที่กำหนดตามตารางด้านล่างนี้ เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 487 หรือ มอก. 488 หรือ ASTM C553, C592, C665, C892 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

#### ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity : k) ของฉนวนใยแก้ว

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวดวงกลาง	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity : k)	0.044W/mK	0.048W/mK	0.053W/mK	0.059W/mK	0.064W/mK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การดูดซับความชื้นของเนื้อฉนวน (Water Vapor Absorption) ต่ำกว่า 5 % โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 1104/C , 1104M หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
  4. วัสดุฉนวนจะต้องเป็นวัสดุไม่ลามไฟ ( Non-Combustible) เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E84 , BS-476 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
  5. ความหนาแน่นของฉนวนใยแก้ว
    1. ชนิดหุ้มท่อ ให้มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 64 กก. ต่อ ลบ.ม. และ มีความหนาแน่นน้อยกว่า 50 มม.
    2. ชนิดแผ่นสำหรับพื้นผิว ให้มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 32 กก. ต่อ ลบ.ม.
    3. ชนิดแผ่นหุ้มท่อลม หรือ บุใต้หลังคา ให้มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 24 กก. ต่อ ลบ.ม. และ ปิดผิวทั้ง 2 ด้านด้วยแผ่นป้องกันความชื้นและไอน้ำประเภท อะลูมิเนียมพอยล์ที่มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำและความชื้นไม่เกิน 0.1 PERM
    4. ชนิดแผ่นบุเหนือฝ้าเพดาน ให้มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 12 กก. ต่อ ลบ.ม. และ ปิดผิวทั้ง 2 ด้านด้วยแผ่นป้องกันความชื้นและไอน้ำประเภทอะลูมิเนียม พอยล์ที่มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำและความชื้นไม่เกิน 0.1 PERM
  6. มีเอกสารข้อเสนอแนะในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
  7. มีการรับประกันอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 5 ปี
- 2. ฉนวนกันความร้อนแบบโฟมโพลียูรีเทน ( Polyurethane foam )**

สำหรับใช้ฉีดพ่นใต้หลังคาหรือภายนอกอาคาร โดยฉนวนชนิดนี้จะมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity : k) ไม่เกิน 0.023 W/mK ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 °C เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 591 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
2. มีค่าการดูดซับความชื้นของเนื้อฉนวนต่ำกว่า 5 % โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C 1140 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
3. เป็นชนิดไม่ติดไฟ, ไม่ลามไฟ, ไม่หยดเมื่อติดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E 84, BS 476 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
4. สามารถใช้งานได้ ในอุณหภูมิถึง 90 °C
5. ทนต่อกรด และ ด่าง
6. มีค่าความหนาแน่นตามแต่การใช้งาน แต่ไม่เกิน 50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
7. มีความหนาของฉนวน โดยทั่วไปควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 25 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. มีเอกสารขออนุญาตในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย

9. มีการรับประกันอายุการใช้งาน ไม่น้อยกว่า 5 ปี

### 3. ฉนวนโพลีเอทิลีนกันความร้อน ( Polyethylene foam )

สำหรับติดตั้งบนแผ่นฝ้าเพดาน หรือ ติดใต้หลังคาแผ่น โลหะ โดยฉนวนต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. เป็นฉนวนชนิดเซลล์ปิด ( Closed cell polyethylene foam : P.E. )
2. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ( Thermal conductivity : k ) ไม่เกิน 0.042 W/mK ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 °C เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 1384
3. มีอัตราการดูดซับความชื้นของเนื้อฉนวนต่ำกว่า 5 % โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C 1140 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
4. ไม่ลามไฟ ไม่ติดไฟ และ ปราศจากสารซีเอฟซี (CFCs) ตามมาตรฐาน ASTM E 84 , BS 476 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
5. ทนอุณหภูมิใช้งานได้ระหว่าง -25 °C ถึง 85 °C
6. ทนต่อสารเคมี กรด และ ด่าง
7. มีความยืดหยุ่นตัวได้ดี ไม่ฉีกขาดง่าย
8. มีค่าความหนาแน่นตามแต่การใช้งาน แต่ไม่เกิน 50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
9. มีความหนาของฉนวน โดยทั่วไปควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 5 มิลลิเมตร
10. มีเอกสารขออนุญาตในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
11. มีการรับประกันอายุการใช้งาน ไม่น้อยกว่า 5 ปี

หมายเหตุ ในอนาคต จะมีการเพิ่มข้อกำหนด การผ่านการรับรองตาม มอก. 1384

### 4. ฉนวนป้องกันความร้อนแบบเยื่อไม้หรือเยื่อกระดาษ (Cellulose Fiber)

สำหรับติดตั้งใต้หลังคา ผนัง หรือ เหนือเพดาน โดยฉนวนต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนไม่เกิน 0.045 W/mK ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 °C เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C177 [3] , C739 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
2. มีค่าการดูดซับความชื้นของเนื้อฉนวนไม่เกิน 5 % โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C 1140 , E 1149 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
3. ไม่ติดไฟ ไม่ลามไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E 84, BS 476 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทนต่ออุณหภูมิการใช้งานได้ถึง 85 °C
5. ไม่ขึ้นรา ไม่กัดกร่อนต่อโลหะ
6. มีความหนาแน่น ไม่เกิน 52 กก.ต่อ ลบ.ม.
7. มีความหนาของฉนวน ซึ่งโดยทั่วไปใช้ไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร
8. มีเอกสารข้อเสนอแนะในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
9. มีการรับประกันอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 5 ปี

#### 5. ฉนวนเซลล์ปิดชนิดยืดหยุ่นสูง (Closed cell elastomeric thermal insulation)

ฉนวนในระบบความเย็น สำหรับใช้หุ้มท่อ หรือ พื้นผิวต่าง ๆ โดยฉนวนต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. เป็นฉนวนเซลล์ปิด มีโครงสร้างเป็นเซลล์อิสระที่ผนังไม่ทะลุถึงกัน ชนิดที่ไม่เป็นเทอร์โมพลาสติก ไม่หลอมเหลวเมื่อถูกความร้อน ภายในบรรจุด้วยก๊าซแห้งชนิดไนโตรเจน และ คาร์บอนไดออกไซด์ ไม่มีสารซีเอฟซี (CFCs) หรือ ก๊าซชนิดไฟอื่น ๆ
2. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ไม่เกินที่กำหนดตามตารางด้านล่างนี้ เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177 [3] , DIN 52613 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

#### ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity : k)

ของฉนวนเซลล์ปิดชนิดยืดหยุ่นสูง

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวดักกลาง	-20 °C	0 °C	24 °C	32 °C	40 °C
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity : k)	0.034W/mK	0.035W/mK	0.038W/mK	0.039W/mK	0.040W/mK

3. มีค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ของเนื้อฉนวนไม่เกิน 5% โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM D 1056 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
4. มีค่าการแทรกซึมความชื้นต่ำกว่า 0.15 PERM-INCH ตามมาตรฐาน ASTM E 96 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
5. ไม่ลามไฟ ดับไฟด้วยตนเอง ไม่เกิดหยดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E 84, ASTM D 635, BS 476, DIN 4102, EMPA, UL 94 V-0 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. มีความหนาแน่น โดยทั่วไปใช้ค่า 50 - 100 กก.ต่อ ลบ.ม. เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 534 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
7. มีปริมาณไนโตรซามีน ไม่เกิน 10 ppb ตามมาตรฐาน US.FDA. หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
8. มีเอกสารขออนุญาตในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
9. มีการรับประกันอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 5 ปี

## 2.2 แหล่งที่มาของเส้นใยพืชในการผลิตถนนวนกันความร้อน

เส้นใยที่ผลิตอาจเป็นเส้นใยสัตว์ เส้นใยพืช เส้นใยแร่ หรือเส้นใยสังเคราะห์ก็ได้ อย่างไรก็ตาม เส้นใยพืชจัดเป็นวัตถุดิบสำคัญที่สุดในการทำถนนวนกันความร้อน พืชเกือบทุกชนิดสามารถนำมาทำเป็นเยื่อถนนวนกันความร้อนได้ซึ่งสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พืชยืนต้น (wood) และพืชล้มลุก (non - wood) [4]

### 1. พืชยืนต้น แหล่งเส้นใยแบ่งตามขนาดความยาวของเส้นใยได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.1 ไม้เนื้ออ่อน (soft wood) เป็นพืชยืนต้นพวกไม้ผลัดใบ (coniferous) โดยทั่วไปมีใบเป็นรูปเข็ม เช่น พวกต้นสน สปรูซ (spruce) ไซปรีส (pine) และ เฟอ (fir) ในประเทศไทยมีเพียง 2 ชนิด คือ สนสองใบ และสนสามใบ เส้นใยที่ได้จากไม้เนื้ออ่อนจะมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3 มิลลิเมตร เยื่อที่ผลิตได้จากไม้เนื้ออ่อนเป็นเยื่อใยขาว และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร “ N ” ( needle ) นำหน้า เช่น NBKP (needle bleach kraft pulp) เพื่อระบุว่า เป็นเยื่อใยขาว

1.2 ไม้เนื้อแข็ง (hard wood) เป็นพืชยืนต้นพวกไม้ผลัดใบ (deciduous) ซึ่งโดยทั่วไปมีใบกว้าง เช่น ยูคาลิปตัส (eucalyptus) เบิร์ช (birch) และใบไม้กว้างต่างๆ ในประเทศไทยยกเว้นไม้บางชนิดในเขตอบอุ่น เช่น สนทะเล เยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็งเป็นเยื่อใยสีน้ำตาลมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร “ L ” (leaved) นำหน้า เช่น LBKP (leaved bleached kraft pulp) เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นเยื่อจากไม้เนื้อแข็ง

### 2. พืชล้มลุก แหล่งเส้นใยจากพืชล้มลุก สามารถแยกย่อยได้เป็น 3 ประเภทคือ

2.1 ส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย

2.2 พืชที่ปลูกขึ้นหรือเกิดขึ้นเอง เช่น ต้นไผ่ ต้นหญ้าจรจบ ผักตบชวา

2.3 เส้นใยจากพืชผลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมีดังนี้

- จากเปลือกและต้น เช่น ปอสา กัญชง เป็นต้น
- จากใบ เช่น สับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อในประเทศไทย

ประเภทของวัตถุดิบ	ผู้ผลิต	ราคา,บาท/ตัน	ปริมาณ,ตัน/ปี
ไม้ยูคาลิปตัส Eucalyptus	Phoenix Pulp & Paper Advance Agro Panjapol Siam Cellulose	760-820	5000000 (+252000)
ชานอ้อย Bagasse	Siam Pulp & Paper ( Thai Pulp& Paper )	200 300-400	45500 (+1000000)
ไม้ไผ่ Bamboo	Phoenix&Paper	810-925	40000
ปอ Kenaf	Phoenix&Paper	1550	
ฟางข้าว Rice straw	Bang-pa-in	1000	not in production
ปอสา Paper mulberry	โรงงานทำกระดาษด้วย มือ โรงงานผลิตกระดาษสา	22000	4700

ตารางที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน[5]

องค์ประกอบทางเคมีของไม้	ไม้เนื้ออ่อน(softwood)	ไม้เนื้อแข็ง(hardwood)
เซลลูโลส(Cellulose)	~45	~43
เฮมิเซลลูโลส(Hemicellulose)	5-20	15-30
ลิกนิน(Lignin)	24-32	17-25
สารสกัดได้(Extractive)	~3.4	~2.0

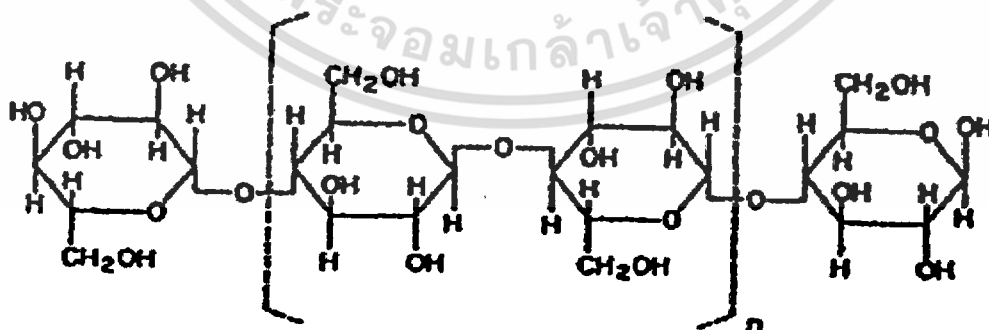
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) [6]

เส้นใยธรรมชาติ (natural fibers) เป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อยๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารเติมแต่งในพลาสติก โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติม และสารเสริมแรง เพื่อเป็นการลดต้นทุน เพิ่มปริมาณการผลิต และเสริมแรงแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด และขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้ โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) และสารประกอบอื่นๆ [7]

### 1. เซลลูโลส (Cellulose)

เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) ซึ่งเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบร่วมกับลิกนิน (Lignin) เพนโตแซน (pentosan) กัม (Gum) แทนนิน (tannin) ไขมัน (Fat) สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมากและโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวจึงสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการวัดความหนืด



แสดงสูตร โครงสร้างของเซลลูโลส

รูปที่ 2.2 สูตร โครงสร้างของเซลลูโลส [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

การละลาย เซลลูโลสไม่ละลายน้ำแต่จะละลายในกรดเข้มข้นเช่นกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) กรดซัลฟูริก (sulfuric acid) เป็นต้น โดยเซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้อง แต่จะหยุดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ เซลลูโลสบวมตัวในสารละลายของเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น สารละลายอัลคาไลไฮดรอกไซด์ (alkali hydroxide) บางครั้งทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถละลายได้

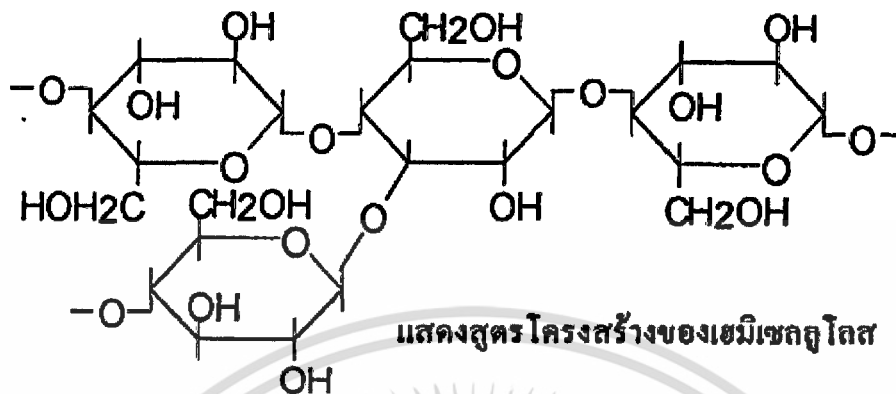
ความหนืด ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเซลลูโลส โดยถ้าเราเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลสความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น

การดูดซับความชื้น เซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีการดูดซับ หรือการคายไอน้ำ หรือของเหลวอื่น ๆ ในบรรยากาศรอบตัวของมันจนกระทั่งถึงจุดสมดุล โดยสมดุลของความชื้นของเซลลูโลสจะแปรเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง (tensile strength) ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

ความหนาแน่น เซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยว จะไม่มีค่าความหนาแน่นที่แน่นอน ค่าความหนาแน่นจะแปรเปลี่ยนไปตามแหล่งที่มา หรืออาจเปลี่ยนไป เนื่องจาก การปรับปรุงทางเคมี

## 2. เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

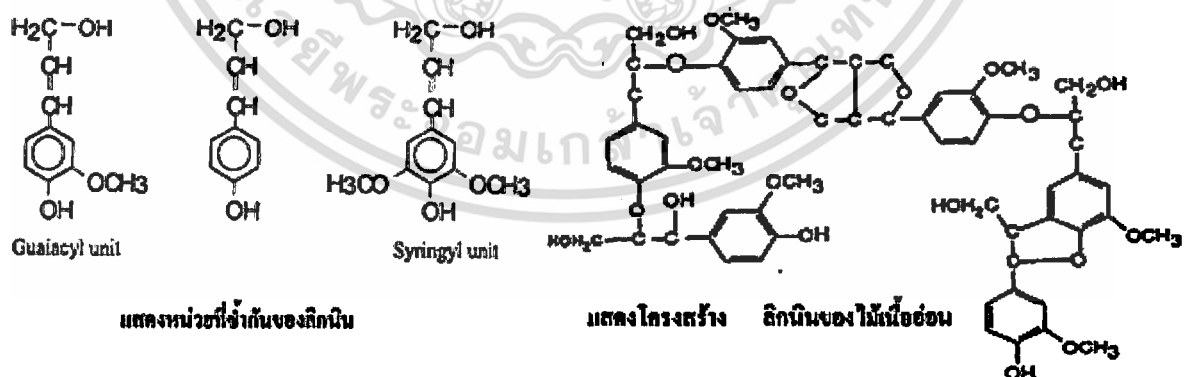
เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนสไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูโคนิก และกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกรบ ช้างข้าวโพด เฮกโซแซน สูตรทางเคมีคือ  $(C_6H_{12}O_5)_n$  โครงสร้างทางเคมีแสดงดังภาพ



รูปที่ 2.3 สูตร โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [8]

### 3. ลิกนิน (Lignin)

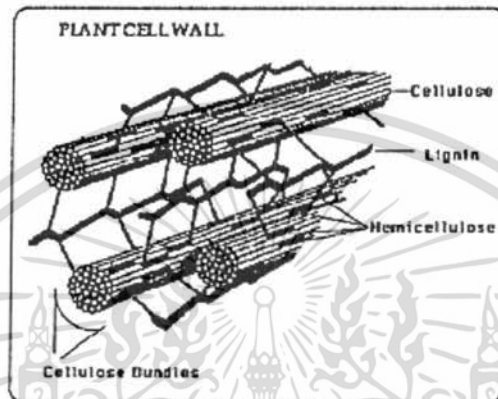
เป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (lignase) หรือลิกนินเนส (ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างหน่วยที่ซ้ำกันของลิกนินแสดง ดังภาพ



รูปที่ 2.4 หน่วยซ้ำของลิกนิน และ โครงสร้างลิกนินของ ไม้เนื้ออ่อน [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

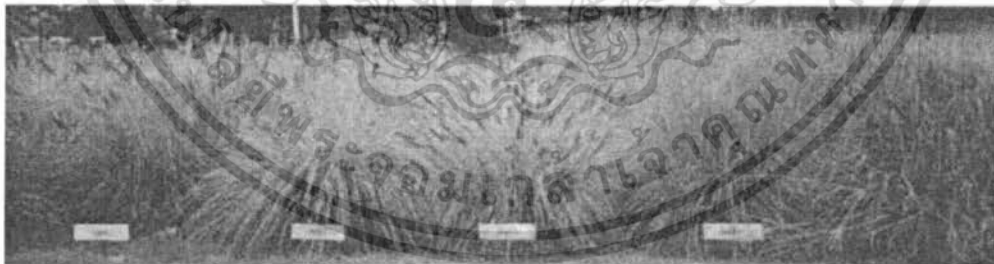
ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมาก จะมีความแข็งสูง และในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุนานจะมีปริมาณลิกนินมาก เช่นเดียวกัน โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้จะเป็นไปดังภาพ



แสดงการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้

รูปที่ 2.5 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินในไม้ [6]

#### 2.4 หญ้าแฝก (Vetiver grass) [10]



รูปที่ 2.6 รูปถ่ายหญ้าแฝกดอน [10]

หญ้าแฝกจัดเป็นหญ้าเขตร้อนที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติกระจายกระจายทั่วไปในสภาพแวดล้อมต่างๆ ในประเทศไทยจะพบหญ้าแฝกขึ้นอยู่ตามธรรมชาติในพื้นที่ทั่วไปจากที่ลุ่มจนถึงที่ดอนสามารถขึ้นได้ในเกือบทุกชนิด หญ้าแฝกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vetiveria zizanioides* เป็นพืชในตระกูลหญ้าเช่นเดียวกับ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย และตะไคร้ ขึ้นเป็นกอหนาแน่น เจริญเติบโตโดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแตกกออย่างรวดเร็ว เส้นผ่าศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ 0.5 ถึง 1.5 เมตร ลักษณะใบแคบยาวประมาณ 75 เซนติเมตร ความสูงจากยอดกอประมาณ 75 เซนติเมตร ความกว้างประมาณ 8 มิลลิเมตร ค่อนข้างแข็ง หากนำมาปลูกติดต่อกันเป็นแนวยาวขวาง แนวลาดเทของพื้นที่กอซึ่งอยู่เหนือดินจะแตกกอติดต่อกันเหมือนรั้วต้นไม้ สามารถรองเศษพืช และตะกอนดิน ซึ่งถูกน้ำชะล้างพัดพามาตกทับดินติดอยู่กับกอหญ้าเกิดเป็นคันดินธรรมชาติได้ หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากลึกเจริญเติบโตในแนวตั้งมากกว่าออกทางข้างและมีจำนวนมากจึง เป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี รากจะประสานติดต่อกันแน่นหนาเสมือนม่านหรือกำแพงใต้ดิน สามารถกัก เก็บน้ำและความชื้น ระบบรากแผ่ขยายกว้างเพียง 50 เซนติเมตร โดยรอบกอเท่านั้น ไม่เป็น อุปสรรคต่อพืชที่ปลูกข้างเคียง จัดเป็นมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยให้ดินมี ความชื้นและรักษาหน้าดิน เพื่อใช้สำหรับปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งการใช้หญ้าแฝกในการอนุรักษ์ดิน และน้ำดังกล่าวเป็นวิธีการที่ง่ายในการปฏิบัติ

#### 2.4.1 พันธุ์หญ้าแฝก [10]

ได้มีการศึกษาหญ้าสกุล *Vetiveria* ในประเทศไทยอย่างเป็นระบบอนุกรมวิธาน ผลการศึกษา ปรากฏว่าหญ้าแฝกที่พบในประเทศไทยจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิดด้วยกันคือหญ้าแฝกหอมหรือ แฝกกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* Nash) และแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* A. Camus) ในธรรมชาติ พบว่าหญ้าแฝกทั้งสองชนิดมีการกระจายทั่วไป ขึ้นได้ดีในสภาพพื้นที่ทั้งที่ลุ่มและที่ดอน ในดิน สภาพต่างๆ จากความสูงใกล้ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับประมาณ 800 เมตร

##### 1. หญ้าแฝกหอม หรือแฝกกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* Nash)

หญ้าแฝกหอมเป็นพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี และค่อนข้าง เร็ว หญ้าแฝกหอมมีใบยาว 40-100 เซนติเมตร กว้าง 0.6-1.2 เซนติเมตร มีหลังใบโค้ง ใบแบนมีสี เขียวเข้ม เนื้อใบค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบ (Wax) มากทำให้ลื่น ท้องใบออกสีขาวซีดกว่าด้านหลัง ใบ และเมื่อนำไปส่องดูกับแดดเห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบ (Septum) ค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะพื้น ใบบริเวณส่วน โคนกลางใบ เส้นกลาง (Midrib) ฝังอยู่ในตัวแผ่นใบไม่โผล่หรือเด่นชัดเจน

##### 2. หญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* A. Camus)

หญ้าแฝกดอนหรือแฝกพื้นบ้าน มีการกระจายพันธุ์อยู่ในวงแคบๆ ตามธรรมชาติเฉพาะใน แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือประเทศไทย ลาว เขมร เวียดนาม และมาเลเซียเท่านั้น หญ้าแฝก ดอนมีใบยาว 35-80 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.8 เซนติเมตร ใบสีเขียวซีด หลังใบสีเดียวกับด้านหลังใบ แต่มีสีซีดกว่า แผ่นใบเมื่อส่องกับแดดไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบ เส้นกลางใบสังเกตเห็นชัดเจน มี ลักษณะแข็งเป็นแกนหนุนทางด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักรหัสสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบลักษณะที่แตกต่างของหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอน [10]

หญ้าแฝกหอม	หญ้าแฝกดอน
ลักษณะกอ	ลักษณะกอ
-เป็นพุ่มใบตั้งตรงขึ้นสูง -สูงประมาณ 150-180 เซนติเมตร -มีการแตกตะเกียงและแตกแขนงข้างลำต้นได้	-เป็นพุ่มใบยาวปลายแผ่โค้งลงคล้ายกอดะไคร้ ไม่ตั้งมากเหมือนหญ้าแฝกหอม -สูงประมาณ 100-150 เซนติเมตร -ไม่มีการแตกตะเกียง และแขนงลำต้น
ใบ	ใบ
-ยาว 45-100 เซนติเมตร กว้าง 0.6-1.2 เซนติเมตร -ใบสีเขียวเข้ม หลังใบโค้ง ท้องใบออกสีขาว มีรอยกั้นขวางในเนื้อใบ ส่องกับแดดเห็น ชัดเจน -เนื้อใบค่อนข้างเหนียว มีไขเคลือบมากทำให้ดูนุ่มมัน	-ยาว 35-80 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.8 เซนติเมตร -ใบสีเขียวซีด หลังใบพับเป็นสันสามเหลี่ยม ท้องใบสีเขียวกับหลังใบแต่ซีดกว่า แผ่นใบเมื่อส่องกับแดดไม่เห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบ -เนื้อใบหยาบ มีไขเคลือบน้อย ทำให้ดูกร้านไม่เหนียว
ช่อดอกและดอก	ช่อดอกและดอก
-สูง 150-200 เซนติเมตร -ส่วนใหญ่มีสีม่วง	-สูง 100-150 เซนติเมตร -มีได้หลายสี ตั้งแต่สีขาว ครีมน ถึงม่วง
ราก	ราก
-มีความหอม เนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหย -สามารถหยั่งลึกได้ 100-300 เซนติเมตร	-ไม่มีความหอม -สามารถหยั่งลึกได้ 8-10 เซนติเมตร
เมล็ด	เมล็ด
-ขนาดใหญ่กว่า	-ขนาดเล็กกว่า
พันธุ์	พันธุ์
-กำแพงเพชร 2 , เชียงราย , สงขลา 1 , สงขลา 2 , สงขลา 3 , สุราษฎร์ธานี , ตรัง 1 , ตรัง 2 , ศรีรังกา , เชียงใหม่ , แม่ฮ่องสอน (รวม 11 พันธุ์)	-อุดรธานี 1 , อุดรธานี 2 , นครพนม 1 , นครพนม 2 , ร้อยเอ็ด , ชัยภูมิ , เลย , สระบุรี 1 , สระบุรี 2 , หัวขาก้าง , กาญจนบุรี , นครสวรรค์ , ราชบุรี , ประจวบคีรีขันธ์ , จันทบุรี , พิษณุโลก , กำแพงเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของใบหญ้าแฝก [11]

องค์ประกอบใบหญ้าแฝก	ปริมาณ (%)
Hemicellulose	72.064
Lignin	17.03
Pentosan	28.26
ความสามารถในการละลายน้ำร้อน	10.56
ความสามารถในการละลายน้ำเย็น	7.39
ความสามารถในการละลาย 1 %NaOH	39.57
ความสามารถในการละลาย Alcohol-Benzene	9.47

#### 2.4.2 การขยายพันธุ์หญ้าแฝก

การขยายพันธุ์หญ้าแฝกเป็นขั้นตอนที่สำคัญ โดยกล้าหญ้าแฝกที่ได้มีการรวบรวมสายพันธุ์ และผ่านการคัดเลือกแล้วว่าจะมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการปลูกตามสภาพพื้นที่ต่างๆ จึงนำมาขยายพันธุ์เพื่อเพิ่มปริมาณให้มีมากเพียงพอตามความต้องการ สำหรับวิธีการขยายพันธุ์สามารถดำเนินการได้หลายวิธี แต่หลักการคือการเพิ่มจำนวนหน่อหรือการเพิ่มจำนวนต้นต่อกอให้มีปริมาณมากขึ้น โดยหน่อที่เพิ่มขึ้นยังคงลักษณะของสายพันธุ์หญ้าแฝกสายพันธุ์นั้นอยู่ ซึ่งวิธีการขยายพันธุ์อาจจะดำเนินการได้ดังนี้ การขยายพันธุ์ในแปลงขนาดใหญ่ การขยายพันธุ์ในแปลงยกร่อง และการขยายพันธุ์ในถุงพลาสติก โดยมีรายละเอียดการขยายพันธุ์ดังนี้

##### การเพิ่มจำนวนหน่อหญ้าแฝก

##### 1. การปลูกดินในแปลงขนาดใหญ่



นำหน่อพันธุ์หญ้าแฝก ปลูกลงแปลงในขณะที่ดินมีความชุ่มชื้น ควรใช้หน่อพันธุ์หลุมละ 2-3 หน่อ โดยใช้ระยะปลูก 50 x 50 ซม. และเว้นสำหรับเป็นทางเดิน 1.00-1.50 เมตร สลับกันไป

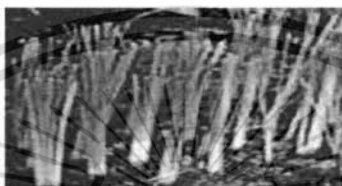
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การปลูกลงดินในแปลงขรื่อง



นำหน่อหญ้าแฝกปลูกในแปลง ที่เตรียมดินและ ขรื่องไว้แล้วปลูกในขณะที่ดินยังมีความชุ่มชื้นอยู่ ขนาดแปลงกว้าง 1.50 เมตร ระยะห่าง ระหว่างแปลง 1 เมตร ระยะปลูก 50x50 ซม.

## 3. การปลูกในถุงพลาสติก



- ถุงใหญ่ ทั่วไปจะใช้ถุงพลาสติกสีดำชนิดพับข้างขนาดตั้งแต่กว้าง 4x9 นิ้ว ขึ้นไป เมื่อกรอกดินผสมลงถุงแล้ว จะได้เส้นผ่าศูนย์กลางของถุงตั้งแต่ 15-20 เซนติเมตร การขยายพันธุ์ในถุงใหญ่ ก็เพื่อให้ได้ปริมาณต้นมากและสามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน เหมาะสำหรับนำไปขยายพันธุ์ต่ออีกครั้ง

- ถุงเล็ก จะมีหลายชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกเล็กใสขนาด 3.5 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว หรือถุงดำพับข้างขนาดกว้าง 2x6 นิ้ว ถึง 2.5x8 นิ้ว หรือเมื่อกรอกดินผสมลงถุงแล้ว จะได้เส้นผ่าศูนย์กลางของถุง 5 เซนติเมตร ถึง 10 เซนติเมตร ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของผู้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ถุงเล็กเหมาะสำหรับนำไปปลูกลงดินหรือพื้นที่เป้าหมายเพื่อประโยชน์ทางด้านอนุรักษ์ดินและน้ำ

### การเพาะชำหน่อหญ้าแฝก

#### 1. กล้าหญ้าแฝกในถุงพลาสติกขนาดเล็ก



กล้าหญ้าแฝกที่ได้จากแม่พันธุ์ที่แข็งแรง นำมาทำการขยายพันธุ์ปลูกในถุงพลาสติกกว้าง 2 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว ซึ่งเหมาะสำหรับ นำไปปลูกลงดินหรือในพื้นที่เป้าหมาย การปลูกหญ้าแฝกที่ได้จากการขยายพันธุ์ในถุงขนาดเล็กนี้จะช่วยให้หญ้าแฝกรอดตายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. กล้าหญ้าแฝกแบบรากเปลือย



กล้าหญ้าแฝกแบบเปลือยรากเป็นการเตรียมกล้าโดยการขุดแยกหน่อจากกอหญ้าแฝกตัดใบให้สั้น 20 ซม. ตัดรากให้สั้น นำไปกระตุ้นรากโดยการแช่น้ำหรือวางบนขุยมะพร้าวที่ชุ่มชื้น เพื่อให้รากใหม่งอกออกมาแล้วจึงนำไปปลูก แต่ข้อเสียคือ ตายง่ายไม่ได้รับการดูแลที่ดี

### 2.4.3 สมบัติที่ดีของหญ้าแฝก

- 1.หญ้าแฝกมีการแตกหน่อ รวมเป็นกอ และเบียดกันแน่น กอมีความแข็งแรง ตั้งตรง และไม่แผ่ขยายด้านข้าง
- 2.หญ้าแฝกเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว แต่อายุยืน อยู่ได้หลายปี เพราะมีการแตกหน่อใหม่ และไม่ต้องดูแล มาก
- 3.หญ้าแฝกมีข้อที่ลำต้นถี่ และเกิดจากการย่นปล้อง สามารถขยายพันธุ์โดยใช้หน่อได้ตลอดปี
- 4.หญ้าแฝกส่วนใหญ่ไม่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ทำให้ สามารถควบคุมการแพร่ขยายได้
- 5.หญ้าแฝกมีใบยาว เมื่อตัดสามารถแตกใหม่ได้ง่าย ใบคม แข็งแรง และทนทานต่อการย่อยสลาย
- 6.หญ้าแฝกมีระบบรากยาว ประสานกันอย่างหนาแน่นช่วยยึดดิน และรากมีลักษณะอวบ สามารถอุ้มน้ำได้ดี
- 7.บริเวณรากหญ้าแฝก เป็นที่อาศัยของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์หลายชนิดในดิน
- 8.หญ้าแฝกสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม ได้ดีและมีความทนทานต่อโรคพืชทั่วไป
- 9.หญ้าแฝกมีส่วนที่เจริญอยู่ต่ำกว่าผิวดิน ช่วยให้ สามารถอยู่รอดได้ต่อสภาพต่างๆ ดีกว่า

### 2.4.4 การใช้ประโยชน์หญ้าแฝก

1. การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝกสำหรับงานศิลปหัตถกรรม

หญ้าแฝกที่สามารถนำมาใช้ในงานหัตถกรรม ได้แก่กลุ่มหญ้าแฝกหอม ซึ่งมีใบมันและยาว เมื่อ โคนน้ำจะนิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานหัตถกรรมที่ใช้หญ้าแฝกจะเป็นงานประกอบเครื่องจักรสาน เช่น

- ทำเป็นตะกร้า และภาชนะ ได้แก่ กระจาด กระดัง และภาชนะรองต่างๆ
- ทำเป็นเครื่องตกแต่งบ้าน ได้แก่ นาฬิกาแขวนกรอบรูป โป๊ะไฟ ของตั้งโชว์ ดอกไม้
- ทำเป็นเครื่องประดับ ได้แก่ กระเป่า หมวก เข็มขัด เข็มกลัดติดเสื้อ
- ทำเป็นของใช้สำนักงาน ได้แก่ แฟ้มเอกสาร ปกไดอารี่



### รูปที่ 2.7 ผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝก

#### 2. การใช้ประโยชน์จากต้น และใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุเพาะเห็ด

ใบของหญ้าแฝกมีองค์ประกอบทางเคมีที่เชื้อราบางชนิดสามารถเจริญเติบโตในกระบวนการของการหมักได้ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับเพาะเห็ดได้ เห็ดที่ขึ้นได้ดี ได้แก่ เห็ดนางฟ้า เห็ดเป๋าฮื้อ และเห็ดหอม

#### 3. การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมหลังคา

คนไทยใช้ส่วนต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมหลังคาเช่นเดียวกับการใช้ใบจาก ก่อนที่จะเปลี่ยนมาใช้ใบหญ้าคาซึ่งหาซื้อได้ง่าย แต่หญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมหลังคาที่มีคุณสมบัติดีกว่าการใช้หญ้ามามาก เพราะส่วนลำต้นและใบของหญ้าแฝกมีไขเคลือบ มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว และมักจะไม้ถูกแมลงทำลาย

#### 4. การใช้ประโยชน์จากรากหญ้าแฝก

รากหญ้าแฝกใช้ทำน้ำมันหอม สนุ่ ยาสมุนไพรรักษาโรคบางชนิด เช่น รากบดละเอียดผสมน้ำแก้ไข้ แก้โรคเกี่ยวกับน้ำดี รากต้มดื่มช่วยละลายนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5. ด้านอนุรักษ์ดินและน้ำ



การปลูกหญ้าแฝกตามแนวชั้นบันไดจะช่วยป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งแถวหญ้าแฝกจะช่วยกักเก็บตะกอนดิน รวมทั้งช่วยลดความแรงของน้ำที่ไหลบ่า ช่วยกักเก็บน้ำไว้ในดิน และพื้นที่ดอนบน และช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากพื้นที่

### 6. ด้านฟื้นฟูและปรับปรุงดิน



การปลูกหญ้าแฝกรอบโคนต้นไม้เป็นการช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุแก่ดิน ช่วยรักษาความชื้นในดิน ช่วยให้ดินมีการระบายน้ำดีขึ้น ช่วยทำให้ดินโปร่งและระบายอากาศของดินดี และช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน

### 7. ด้านรักษาสภาพแวดล้อม



การปลูกหญ้าแฝกตามแนวร่องน้ำช่วยรักษาคุณภาพน้ำและแหล่งน้ำ ช่วยดูดซับโลหะหนักจากสภาพแวดล้อม ช่วยในการบำบัดและกรองน้ำเสีย และช่วยป้องกันการพังทลายของไหล่ถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ฟางข้าว (Rice straw) [12]



“ฟางข้าว” เศษวัสดุเหลือทิ้งจากท้องนาที่ไม่ได้รับการเหยียบแกล และถูกมองข้ามเสมอมา

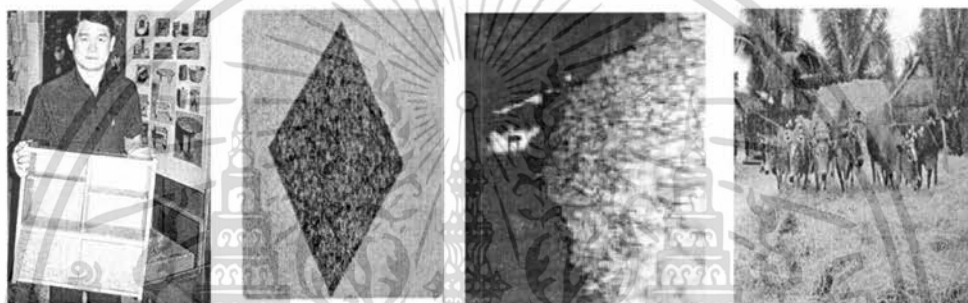
“ฟางข้าว” มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถ พัฒนาเป็นฉนวนความร้อน เพื่อทดแทนฉนวนใยแก้วและแผ่นโฟมที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ วัสดุฉนวนความร้อนกำลังเป็นที่นิยมและแพร่หลายมากในปัจจุบัน มีการใช้มากทั้งในโรงงาน งานก่อสร้างอาคารและบ้านพักอาศัย แต่ส่วนใหญ่จะใช้ฉนวนใยแก้ว และแผ่นโฟม โดยเฉพาะอย่างยิ่งฉนวนใยแก้วที่ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ จากสถิติในปี 2543 ไทยมีการนำเข้าฉนวนใยแก้วสูงถึง 45,149,891 บาท[12] ทำให้เสียดุลการค้า นอกจากนี้ ฉนวนความร้อนเหล่านี้ ยังผลิตจากวัสดุสังเคราะห์ ซึ่งมีประสบปัญหาและคำถามเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อสุขภาพเมื่อนำมาใช้งาน การพัฒนาฉนวนความร้อนที่อาศัยเส้นใยจากพืชที่หาได้จากธรรมชาติ ย่อมส่งผลดีทั้งช่วยลดปัญหาการขาดดุลการค้า และปัญหาด้านสุขภาพ ซึ่ง “ฟางข้าว” จัดเป็นฉนวนความร้อนที่ดีอย่างหนึ่ง และจากการทดสอบค่าการนำความร้อนของฟางข้าวแห้งที่นำมาอัดจนมีความหนาแน่นประมาณ 80 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-0.07 W/m.K วัดต่อเมตรองศาเซลเซียสในขณะที่ฉนวนใยแก้ว มีค่าการนำความร้อนประมาณ 0.03-0.04 W/m.K ขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาแน่นของฉนวน [12]

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่า จากการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนระหว่าง ฟางข้าว และ ฉนวนใยแก้วมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งที่จะ นำฟางข้าวมาผลิตเป็นฉนวนความร้อนที่ดีได้ในอนาคต เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงความร้อนที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น มีความหนาแน่นต่ำ สามารถม้วน งอ หรือพับได้ และ มีความแข็งแรง นอกจากนี้ ใยฉนวนความร้อนที่ผลิตได้จะมีค่าการนำความร้อนต่ำสามารถใช้ทดแทนฉนวนความร้อนที่ทำจากใยแก้วและโฟมเป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1 ประโยชน์ของ “ฟางข้าว”

1. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นประกอบชีวภาพ คล้ายคลึงกับแผ่นไม้ประกอบ เช่น แผ่นขึ้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัด และแผ่นไม้อัดสารแร่ เป็นต้น
2. การผลิตแผ่นพลาสติกเสริมแรงด้วยฟางข้าว เพื่อเป็นวัสดุโพลิเมอร์ชนิดใหม่
3. ใช้ผลิตเป็นฉนวนความร้อน
4. ใช้เป็นที่เพาะเชื้อเห็ดฟาง



รูปที่ 2.8 ผลิตภัณฑ์จากฟางข้าว

### 2.5.2 คุณสมบัติของฟางข้าว

1. ผลพลอยได้จากการปลูกข้าว มีมากหลังฤดูเก็บเกี่ยวข้าว เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโค-กระบือในช่วงแล้ง
2. มีคุณค่าทางอาหารต่ำ มีโปรตีน เยื่อใย และค่าคุณค่าทางอาหารย่อยได้ทั้งหมด ประมาณ 2.76%, 36.17% และ 45% ของวัตถุดิบแห้งตามลำดับ
3. อัตราการย่อยได้ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ส่วนประกอบทางเคมีของฟางข้าว[13]

คุณค่าทางอาหาร	ฟางธรรมชาติ
วัตถุแห้ง	90.0
โปรตีนรวม	2.76
เยื่อใย	38.13
เถ้า	14.54
ไขมัน	2.00
คุณค่าทางอาหารคาร์โบไฮเดรต	32.27
ย่อยได้ทั้งหมด	40.2
โปรตีนย่อยได้	0
การย่อยได้ของวัตถุแห้ง	50.0

## 2.6 แคลเซียมซัลเฟต (Calcium Sulfate)



เป็นสารเคมีที่ใช้ในห้องทดลองและงานอุตสาหกรรมในรูปแอนไฮดรัสเป็นของแข็งใช้เป็นตัวดูดความชื้น (desiccant) ในห้องทดลอง โดยมีชื่อเรียกว่า ครายเออไรต์ เสมิไฮเดรต รู้จักกันดีในชื่อของ พลาสติกออปทาร์ส ขณะที่ ไดไฮเดรต เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมีชื่อว่า ยิปซัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ตารางแสดงคุณสมบัติของแคลเซียมซัลเฟต

ชื่อผลิตภัณฑ์	แคลเซียมซัลเฟต, 1/2-ไฮเดรต, ผง
ชื่อภาษาอังกฤษ	calcium sulfate
ชื่อเสมือน	ปูนปลาสเตอร์; ยิปซัมแห้ง
ลักษณะ	ผง สีขาว, ไม่มีกลิ่น
สูตรเคมี	CaSO <sub>4</sub>
น้ำหนักโมเลกุล	136.14 g/mol (anhydrous)
ความเสถียร	เสถียร
คำเตือน	ทำให้ระคายเคือง หลีกเลี่ยงการสัมผัส ดวงตา ผิวหนัง เสื้อผ้า เก็บในภาชนะปิดสนิท ใช้ในสถานที่ที่มีการระบายอากาศเพียงพอ ทำความสะอาดหลังการสัมผัส ทำความสะอาดหลังการสัมผัส.
จุดไวไฟ ขีดจำกัดการติดไฟ	(ระบบปิด) ไม่มีการวิเคราะห์ ขีดจำกัดบน - ไม่มีการวิเคราะห์ % ขีดจำกัดล่าง - ไม่มีการวิเคราะห์ %

## 2.7 กระบวนการผลิตวัสดุกันความร้อน

การทดลองผลิตฉนวนกันความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทเส้นใยธรรมชาติแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบ วัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการผลิตจะต้องนำไปตัดเป็นท่อนๆ ที่มีความยาวประมาณหนึ่งนิ้วครึ่ง ขนาดวัตถุดิบจะถูกคัดเลือกโดยผ่านตะแกรงร่อน เพื่อคัดขนาดให้ได้ขนาดใกล้เคียงกัน แล้วจึงนำไปเข้ากระบวนการผลิตเยื่อ

2. การผลิตเยื่อ (pulping) เป็นขั้นตอนที่วัตถุดิบจะถูกนำมาทำเป็นเยื่อไม้ กรรมวิธีผลิตเยื่อสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธีด้วยกัน คือ

2.1 การผลิตเยื่อเชิงกล (Mechanical pulping process) การผลิตเยื่อเชิงกลหมายถึงกระบวนการผลิตเยื่อโดยการใช้พลังงานกล ช่วยให้เส้นใยแตกหลุดจากกันเป็นอิสระ กล่าวคือ ไม้ทั้งท่อนจะได้รับการตัดออกเป็นชิ้นเล็กๆแล้วบดด้วยลูกหิน (Ground wood ,GW) หรือบดด้วยจาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( refiner ) จนละเอียดเป็นเยื่อไม้ จึงให้ผลผลิตเยื่อสูงตั้งแต่ร้อยละ 85 ขึ้นไปเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีนี้ได้แก่ เยื่อ PGWP (pressurized ground wood pulp) เยื่อ TMP(thermo mechanical pulp) เยื่อ CTMP(chemi thermo nechanical plup) เยื่อไม้ที่ผลิตได้จากการผลิตเยื่อวิธีนี้ จะมีส่วนผสมของลิกนินทั้งหมดปนอยู่ด้วยค่อนข้างหยาบกระด้าง เส้นใยที่ได้จากเยื่อชนิดนี้ส่วนใหญ่จะมีการฉีกขาดและตัดเป็นท่อนๆ ไม่แยกเป็นเส้นใยสมบูรณ์แต่ละเส้น นอกจากนี้ยังมีชิ้นไม้เล็กๆ หรือกลุ่มของเส้นใย (bundle of fiber)ปนอยู่จำนวนมาก เนื่องจากเส้นใยแต่ละเส้นไม่สามารถแยกเป็นเส้นใยสมบูรณ์ และยังคงมีลิกนินในปริมาณสูงมาก เยื่อเชิงกล เมื่อนำมาทำเป็นวัตถุดิบในการผลิตจะมีคุณสมบัติด้านความทึบสูง แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยต่ำ จึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในการผลิตเยื่อประเภทรับแรงสูง เยื่อชนิดนี้มีราคาค่อนข้างถูก

2.2 การผลิตเยื่อกึ่งเคมี (semi – chemical pulp process ) หมายถึง กระบวนการผลิตเยื่อที่ต้องอาศัยทั้งพลังงานกลเช่นเดียวกับการผลิตเยื่อเชิงกลและการใช้สารเคมีเข้ามาช่วยให้เส้นใยแยกตัวเป็นอิสระง่ายขึ้น สารเคมีที่ใช้ได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์ชนิดที่เป็นกลาง(neutral sodium sulfite ) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate )เยื่อที่ผลิตได้ ได้แก่ NSSC (neutral sulfite semichemical) ซึ่งยังคงมีปริมาณลิกนินเหลืออยู่บ้างแต่น้อยกว่าปริมาณลิกนินในเยื่อเชิงกล

2.3 การผลิตเยื่อเคมี (chemical pulping process ) เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานความร้อนและสารเคมีละลายลิกนิน ซึ่งเชื่อมระหว่างเส้นใยออกมา เส้นใยที่ได้จากเยื่อเคมีทุกชนิดจะสามารถแยกตัวเป็นเส้นใยแต่ละเส้นได้อย่างสมบูรณ์ แตกต่างจากเส้นใยที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงกลไม่มีลักษณะของไม้ซึ่งเป็นการจับกลุ่มของเส้นใยเหลืออยู่จึงเป็นที่มาของคำว่าปลอดไม้ (wood – free pulp ) การเรียกชื่อเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีนี้จะเรียกตามระบบสารเคมีที่ใช้ เช่น ถ้าใช้โซดาไฟในการผลิต จะเรียกเยื่อโซดา (sodo pulp ) เป็นต้น เยื่อเคมีจัดเป็นเยื่อที่มีการผลิตลำดับสูงสุดในอุตสาหกรรมและมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเยื่อชนิดนี้สามารถนำไปพัฒนาสมบัติกายภาพของเส้นใยได้ดีตามความเหมาะสม

3. การเตรียมเยื่อ (stock preparation ) มีวัตถุประสงค์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยให้เหมาะสมแก่การเดินแผ่นที่ต้องการผลิต โดยการยี่เยื่อซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การยี่เยื่อให้กระจายในน้ำ เพื่อให้เส้นใยแยกจากกันและกระจายในน้ำอย่างสม่ำเสมอ
- การทำความสะอาดน้ำเยื่อ (cleaning ) เพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำเยื่อ
- การควบคุมความเข้มข้นของน้ำเยื่อ เพื่อให้มีคุณสมบัติคงที่( consistency )

## 2.8 การใช้สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) ในการต้มเยื่อ

จากการที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) ในการต้มเยื่อ โดยที่โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะทำปฏิกิริยากับสารลิกนินในเนื้อไม้ โดยจะทำการชะลิกนินซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อเส้นใย ออก น้ำต้มเยื่อที่ได้ต้องนำมาทำการ Recover ใหม่ ซึ่งบางโรงงานได้มีการปล่อยน้ำต้มเยื่อลงในแหล่งน้ำ สารลิกนินที่อยู่ในน้ำต้มเยื่อทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ จะก่อให้เกิดสารไดออกซิน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นเพื่อเป็นการสะดวกต่อการทำงาน การลดมลภาวะของสิ่งแวดล้อม และเป็นการประหยัดต่อการผลิต จึงได้ทำการใช้สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) ในการต้มเยื่อแทนที่โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) เนื่องจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) มีองค์ประกอบของปุ๋ยอยู่ คือ โพแทสเซียม เมื่อได้นำจากการต้มเยื่อแล้วสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ย หรือรดน้ำต้นไม้



แม่ปุ๋ย

## 2.9 ค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลืตกค้างในเยื่อ (Kappa number)

Kappa number คือ เป็นตัวตรวจวัดปริมาณ lignin ในเยื่อหลังจากผ่านกระบวนการผลิตเยื่อ ในการทดลองนี้จะกำหนดค่าอยู่ระหว่าง 25-30 [14]

### การหาค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลืตกค้างในเยื่อ (Kappa number)

1. หาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อ
2. หาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการฟอกเยื่อ
3. หาปริมาณสารลิกนินที่เหลืตกค้างในเยื่อหลังกระบวนการต้ม

การนำค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลืตกค้างในเยื่อ (Kappa number) ไปใช้ประโยชน์

1. ช่วยให้ทราบว่า ควรที่จะผลิตเยื่อให้มีค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลืตกค้างในเยื่อ อยู่ในช่วง 25-30 ซึ่งถ้าต่ำกว่า 25 เส้นใยจะอยู่ในเซลล์ลุโลสมากเกิน ไป ทำให้เยื่อที่ผลิตได้เกาะกันเป็นก้อน ไม่กระจายตัว แต่ถ้าสูงกว่า 30 เส้นใยจะถูกทำลายมากเกิน ไป ทำให้เยื่อที่ผลิตได้ไม่เกาะเกี่ยวกัน เส้นใยขาด ไม่สมบูรณ์

2. ช่วยให้เห็นว่า ควรที่จะใช้ความเข้มข้นของสารเคมีในการต้มเยื่อที่เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารเคมีสูงเกินไป จะทำให้เยื่อที่ผลิตได้กระจายตัวได้ไม่ดี มีค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อต่ำ และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตจะต่ำ แต่ถ้าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารเคมีต่ำเกินไป จะทำให้เยื่อที่ผลิตได้ขาดไม่สมบูรณ์ มีค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อสูง และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตจะสูง

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว และหญ้าแฝก พบว่า สิ่งที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของแผ่นฉนวนความร้อน ชนิดของสารยึดติดและสารเติมแต่ง ปริมาณของสารยึดติด ชนิดของวัสดุ ลักษณะรูปร่างวัสดุ เป็นต้น ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อนที่ได้ สำหรับผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีดังนี้

Pathak B. S. Jain A.K. และ Singh A. (1986) [15] ศึกษาถึงลักษณะสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของพีชเส้นใยที่เหลือทิ้งทางการเกษตร 10 ชนิด จากการศึกษพบว่า พีชที่มีความหนาแน่นสูง (high bulk density) ที่  $150 \text{ kg/m}^3$  ประกอบด้วย ต้น arhar ต้นฝ้าย ส่วนความหนาแน่นที่ระดับปานกลาง (medium bulk density) ที่  $100\text{-}150 \text{ kg/m}^3$  ประกอบด้วย เปลือกถั่วลิสง ชังข้าวโพด และ แกลบ และส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำที่  $50\text{-}100 \text{ kg/m}^3$  ประกอบด้วย ชานอ้อย ต้นข้าวโพด ฟางข้าว สาเล่ และที่มีความหนาแน่นต่ำมากๆ (very low bulk density) คือต่ำกว่า  $50 \text{ kg/m}^3$  คือฟางข้าว ส่วนการทดสอบ ค่าปริมาณความชื้นที่ต่ำสุด คือ ต้น arhar และสูงสุด คือ ต้นข้าวโพด ส่วนค่าความร้อนของเปลือกถั่วลิสง เท่ากับ  $20.01 \text{ MJ/kg}$  ส่วนค่า proximate ประกอบด้วย ค่า fixed carbon ของฟางข้าวสาเล่เท่ากับ  $17.93\%$  และฟางข้าวเท่ากับ  $11.10\%$  ส่วนค่า volatile matter ของเปลือกถั่วลิสง เท่ากับ  $83.9\%$  ของฟางข้าวเท่ากับ  $69.7\%$  และขี้เถ้าของฟางข้าวเท่ากับ  $19.20\%$  ชังข้าวโพดเท่ากับ  $1.84\%$  พบว่าส่วนที่มีเซลลูโลสที่มากคือ ต้น Dhaincha เท่ากับ  $46.3\%$  ส่วนค่า pentosan ของชังข้าวโพดเท่ากับ  $27.9\%$  ส่วนค่าลิกนินที่สูงคือ ต้น Arhar เท่ากับ  $39.7\%$  และยังมีธาตุอื่นๆ อีก

Samatharjan A. Vijayaraghavan N.C. และ Swaminathan K.R. (1992) [16] ได้ศึกษาถึงสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดทำมาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยนำวัสดุ 5 ชนิด ประกอบด้วย เปลือกข้าวโพด ชังข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง กะลามะพร้าว และฟางข้าว ใช้กาวยูเรีย ฟอรัมาลดีไฮด์  $6\%$  (โดยน้ำหนัก) เป็นสารยึดติด มาผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นต่ำ (low density particle board) จากการทดสอบ พบว่า แผ่นที่ทำจากซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสงจะมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นที่สูงกว่าแผ่นที่ทำจากฟางข้าว แผ่นที่ทำจากซังข้าวโพด และเปลือกถั่วลิสงจะมีค่ามอดูลัสแตกร้าวที่สูงกว่าแผ่นอื่นๆ ส่วนค่าความแข็งแรงทนการกระแทก (impact strength) และค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่น นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน และแผ่นที่ทำจากซังข้าวโพดจะมีค่าความต้านทานแรงดึง (thermal conductivity) ของแผ่นที่ทำจากฟางข้าวจะมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำที่สุด และเปลือกถั่วลิสงจะมีค่าสูงกว่าแผ่นอื่นๆ

Paturau J.M. (1982) [17] ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดความหนาแน่นต่ำจากกากอ้อย โดยนำกากอ้อยที่ได้จากโรงงานน้ำตาลนำมาแยกพิท (pith) ออกร่อนผ่านตะแกรง แล้วนำเข้าเครื่องโดยใช้ปูนขาว หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ทำการย่อย 40 นาที ภายใต้ความดัน 620 Kpa เมื่อครบเวลาแล้วก็จะส่งไปที่เครื่องย่อยเพื่อเติมสารเคลือบผิวกันซึม (sizing agent) ใช้เรซิน 1% ส่งไปในเชื้อที่มีค่า pH เป็นกลาง จากนั้นทำการตกตะกอนเชื้อที่ทำการคัดขนาดโดยปรับค่า pH ไปที่ 4.6-4.8 ด้วยสารละลายปูนขาว 3% และเติมสารเพื่อใช้ป้องกันแมลงและเชื้อรา

Suttisonk B. (1999) [18] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำวัสดุเหลือใช้ประเภทผลไม้เพื่อทำเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ โดยใช้เส้นใยจากเปลือกมะพร้าวและเปลือกทุเรียน ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยทุเรียนเพิ่มในส่วนผสมจะลดค่าการนำความร้อนลง โดยความยาวที่เหมาะสมของเส้นใยคือ 2 มิลลิเมตร และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือปริมาณเส้นใยร้อยละ 20 ของปริมาณซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก) จากการทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่า มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ  $0.0254 \text{ W/m.K}$  ค่าแรงอัดเท่ากับ  $24.52 \text{ kg/cm}^3$  (ระยะเวลาในการบ่มในอากาศ 1 วัน และในน้ำ 9 วัน และค่าความหนาแน่น  $958.50 \text{ kg/cm}^3$  และสำหรับอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับเส้นใยทุเรียน คือปริมาณเส้นใยทุเรียนร้อยละ 10 ของปริมาณซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก) ให้ค่าการนำความร้อนเท่ากับ  $0.3506 \text{ W/m.K}$  ค่าแรงอัดเท่ากับ  $33.60 \text{ kg/cm}^3$  (ระยะเวลาในการบ่มในอากาศ 1 วัน ในน้ำ 9 วัน และบ่มต่อในอากาศอีก 12 วัน และค่าความหนาแน่นเท่ากับ  $1,456 \text{ kg/cm}^3$ )

รัตติยา มณีศรี และคณะ (2539) [19] ได้ศึกษาการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดความหนาแน่นปานกลางจากคั้นหญ้าสลาบลวง ในการผลิตโดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ และกาวยูเรียเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน เป็นสารยึดติดที่ได้สังเคราะห์ขึ้นใช้ในห้องปฏิบัติการในการทดลองและทดสอบสมบัติทางกายภาพคือค่าความหนาแน่น (density) ค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ค่า

ความต้านทานมอดูลัสแตกร้าว (modulus of rupture) และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า จากการทดลองพบว่า สิ่งที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ คือ ชนิดของซินไม้ ชนิดของสารยึดติด ปริมาณสารยึดติดกล่าวคือถ้าใช้สารยึดติดกาวยูเรียเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (urea melamine formaldehyde resin) กับหญาสลาบลวงที่ปริมาณสารยึดติดเท่ากัน พบว่า จะมีสมบัติที่ใช้กาวยูเรียเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน เป็นสารยึดติดจะดีกว่ายูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน เป็นสารยึดติด ถ้าใช้สารยึดติดชนิดเดียวกันปริมาณสารยึดติดเท่ากัน พบว่า ซินไม้ยูคาลิปตัสจะมีสมบัติดีกว่าแผ่นที่ใช้ต้นหญาสลาบลวง และหากใช้สารยึดติดในปริมาณที่แตกต่างกัน ก็จะมีผลต่อสมบัติแตกต่างกัน เช่นเดียวกัน

ประยูร สุรินทร์ (2544) [20] ได้ศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย พบว่า การนำความร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง  $0.0724-0.0925 \text{ W /m.K}$  ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นและปริมาณกาวที่ใช้ ค่าการนำความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นและปริมาณกาวเพิ่มขึ้น การดูดซึมน้ำ การขยายตัวทางความหนาและความยาวลดลง ส่วนความต้านทานแรงกระแทก ค่ามอดูลัสแตกร้าวและยึดหยุ่น ค่าต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงขึ้น แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้ใช้ปริมาณกาว 25% และ 33% มีความหนาแน่นระหว่าง  $600-700 \text{ kg/cm}^3$  สามารถใช้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีและยังใช้เป็นแผ่นอัดความหนาแน่นปานกลาง

จากงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่าการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตแผ่นฉนวนความร้อนมาใช้กันอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ ที่เป็นประเทศเกษตรกรรมทั่วโลก ซึ่งรวมถึงประเทศไทย โดยปัจจุบันได้มีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายประเภทมาผลิตแผ่นฉนวนและปาร์ติเกิล เช่น เศษไม้ ขี้เลื่อย เปลือกถั่ว กาบมะพร้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด ฟางข้าว เป็นต้น และวัสดุประเภทอื่นๆ ด้วย ดังนั้นแนวทางที่น่าจะมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นฉนวนความร้อนเพื่อทดแทนไม้ได้ในอนาคต

## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง

การทดลองครั้งนี้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเชื้อ โดยใช้สาร โปแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ จากนั้นขึ้นรูปเชื้อด้วยตะแกรงขึ้นรูปเชื้อแล้วนำผลผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติทางกลต่างๆ ขั้นตอนการทดลองดังนี้

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดหม้อต้มสแตนเลสพร้อมฝาปิดสนิท
2. เครื่องตัดวัตถุคิบ
3. ตะแกรงล้างเชื้อ
4. ตะแกรงขึ้นรูป
5. อ่างสำหรับขึ้นรูปเชื้อ
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (OHAUS รุ่น ARC120 ; Ohaus Corp. Pine Brook, NJ USA)
7. เครื่องปั่นกวน (Stirrer, CTL รุ่น HS1 ; บริษัทซีทีแลบอราตอรี จำกัด)
8. ชุดไทเทรต
9. pH paper
10. เครื่องแก้ว

#### 3.2 เครื่องมือวิเคราะห์

1. เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อน (Quiols Thermal Conductivity Meter, NETZSCH รุ่น WJ-EEE-13)
2. เครื่องวัดความหนา

#### 3.3 วัสดุคิบที่ต้องใช้ในการทดลอง

1. หนุ้าแฝก (หนุ้าแฝกคอน พันธุ์ราชบุรี / แหล่ง : ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ บริษัทวินิไทย จำกัดมหาชน)
2. ฟางข้าว (แหล่ง : ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 สารเคมีที่ต้องใช้ในการทดลอง

- 1) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ยี่ห้อ CARLO ERBA
- 2) สารละลายกรดซัลฟูริก เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
- 3) สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
- 4) สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
- 5) สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
- 6) อินดิเคเตอร์ (0.2% น้ำแป้ง)

### 3.5 การเตรียมสารละลายในการหาค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อ(Kappa number)

1. การเตรียมสารเคมี
  - 1.1 เตรียมกรดซัลฟูริก เข้มข้น 4 นอร์มอล ตวงมา 111 มิลลิลิตร เติมน้ำให้ครบ 1000 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
  - 1.2 เตรียมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 166 กรัม เติมน้ำให้ครบ 1000 มิลลิลิตร
  - 1.3 เตรียมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เข้มข้น 0.1 นอร์มอล 1 หลอด ใส่ขวดวัดปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เตรียม 2 ลิตร ใช้ 2 หลอด
  - 1.4 เตรียมโซเดียมไทโอซัลเฟต เข้มข้น 0.2 นอร์มอล 2 หลอด เติมน้ำให้ครบ 1000 มิลลิลิตร
  - 1.5 เติมน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ชั่งแป้ง 2.5 กรัม เติมน้ำธรรมดาเล็กน้อย เทลงในน้ำที่เดือด 500 มิลลิลิตร ต้มจนเดือด ทิ้งให้เย็น เติมน้ำโพแทสเซียมไอโอไดด์ 0.5 กรัม คนให้ละลายตั้งไว้ให้ตกตะกอน ใช้ส่วนที่ใสใส่ขวดใส่ฟอर्मัลดีไฮด์ 1 มิลลิลิตร เพื่อรักษาสภาพของน้ำแป้งที่เตรียมไว้

### 3.6 วิธีการทดลอง

#### 3.6.1 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของหญ้าแฝกและฟางข้าว

1. นำหญ้าแฝกและฟางข้าวตัดออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนปลาย – ส่วนโคนตัดเป็นท่อนยาวหนึ่งนิ้วครึ่ง
2. นำหญ้าแฝกและฟางข้าวส่วนหนึ่งมาหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยวิธีการดังนี้
  - ชั่งภาชนะ บันทึกรผล
  - ชั่งภาชนะและหญ้าแฝกหรือฟางข้าว บันทึกรผล
  - นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปใส่ไว้ในเคชิตเตอร์ จนหญ้าแฝกหรือฟางข้าวพร้อมภาชนะเย็นลง
  - ชั่งน้ำหนักของหญ้าแฝกหรือฟางข้าวพร้อมภาชนะที่อบแล้ว บันทึกรผล เพื่อนำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์ความชื้น (ภาคผนวก ข)

#### 3.6.2 การหาภาวะในการต้มเยื่อสำหรับหญ้าแฝกและฟางข้าว

1. ตวงน้ำปริมาตร 8 เท่าของน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกหรือฟางข้าว (8 : 1) ใส่ลงในชุดหม้อต้มสแตนเลส ซึ่งสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จำนวน 10 % ของน้ำหนักหญ้าแฝกหรือฟางข้าวแห้ง ใส่ลงในน้ำคนให้ละลายจนหมด
2. นำหญ้าแฝกหรือฟางข้าวที่ได้จากส่วน โคน – ส่วนปลายที่แยกออกจากกันแล้ว มาล้างด้วยน้ำสะอาด โดยล้างส่วน โคนแล้วเทลงในสารละลาย แช่ 3 ชั่วโมง แล้วนำส่วนปลายที่ล้างน้ำสะอาดแล้ว แช่ร่วมกับส่วน โคนต่ออีก 17 ชั่วโมง นำไปต้มจนเดือด บันทึกรเวลา หลังจากเดือดแล้ว ให้ทำการต้มต่อจนกระทั่งครบ 3 ชั่วโมง พอที่เยื่อจะสามารถกระจายตัวจากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำเปล่าให้หมดสารเคมีโดยล้างจนน้ำเยื่อมีฤทธิ์เป็นกลางต่อกระดาษลิตมัส
3. จากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปกระจายจนเยื่อมีลักษณะเป็นเส้นๆ ไม่เกาะติดกันแล้วจึงนำไปล้างน้ำเปล่าบิบให้แห้งและนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกรผล
4. นำเยื่อมาจำนวนหนึ่งเพื่อหาความชื้น โดยวิธีเช่นเดียวกับข้อ 3.4.1
5. คำนวณหาผลผลิตเยื่อที่ได้
6. จากนั้นทำซ้ำจากข้อ 1-5 โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในการต้มเป็น 12% , 14% และ 16 % ตามลำดับ ของน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำเยื่อที่ผ่านการกระจายแล้ว ของแต่ละความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกหรือฟางข้าวมาหาค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (Kappa number) ให้อยู่ในช่วง 25-30

### 3.6.3 การหาปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (Kappa number)

1. นำเยื่อที่ผลิตมากระจายออกจากกัน ทำการหาความชื้นของเยื่อหลังผ่านการยี่เยื่อเพื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (ภาคผนวก ข) มาคำนวณหาปริมาณเยื่อที่ต้องใช้ในการหาค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (ภาคผนวก ง)
2. เตรียมชุดควบคุม ในการทดลองหาค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลืตกค้างในเยื่อ โดยการ
  - 2.1 ตวงน้ำปริมาณ 800 ml ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 2000 ml แล้วกวนด้วยเครื่องปั่นกวน โดยใช้แท่งแม่เหล็ก ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ
  - 2.2 ตวง 4 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  100 ml ใส่ลงไปใต้น้ำ
  - 2.3 บีเปิด 0.1 N  $\text{KMnO}_4$  100 ml ใส่ลงในบีกเกอร์ เริ่มจับเวลาตั้งแต่หยดแรกของ  $\text{KMnO}_4$  ลงในบีกเกอร์และทำการวัดอุณหภูมิที่เวลา 5 นาที
  - 2.4 หลังจากรอ 10 นาทีใส่ 1 N KI 20 ml หยดน้ำแข็ง เพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์
  - 2.5 ทำการไทเทรต กับ 0.2 N  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  จนสารละลายกลายเป็น ไม่มีสี
  - 2.6 บันทึกปริมาณ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ ทำการทดสอบซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยในการไทเทรต
3. หาปริมาณสารละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ในการไทเทรตเยื่อ
  - 3.1 ชั่งเยื่อ 1.5 กรัม ใส่เครื่องปั่น
  - 3.2 ตวงน้ำปริมาณ 800 ml เทลงในบีกเกอร์ขนาด 200 ml แบ่งออกเป็น 2 ส่วน เท่าๆกัน
  - 3.3 นำน้ำส่วนแรกเทลงเครื่องปั่น ทำการปั่นเป็นจังหวะ เพื่อให้เยื่อกระจายตัว
  - 3.4 เทเยื่อที่ปั่นเทลงบีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร นำน้ำส่วนที่ 2 ลงเครื่องปั่นให้ สะอาด เทลงบีกเกอร์ใบเดิม
  - 3.5 ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน โดยใช้แท่งแม่เหล็ก ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ แล้วทดลอง เช่นเดียวกับข้อ 2.2-2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Kappa number ซึ่งค่า Kappa number ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 25-30 และนำค่า Kappa number ที่ได้มาคำนวณหาปริมาณลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (ภาคผนวก ง)

### การคำนวณปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อ Kappa number

$$\begin{aligned} \text{Kappa number} &= \text{afd} / \text{m} \\ \text{a} &= 2(\text{b}-\text{c}) \\ \text{b} &= \text{ml of titrant of blank} \\ \text{c} &= \text{ml of titrant of sample} \\ \text{d} &= \text{ค่าเทียบจากตาราง} \\ \text{m} &= \text{mass of sample} \\ \text{f} &= 1 + 0.013 (25 - t) \\ \text{t} &= \text{อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)} \end{aligned}$$

ตารางที่ 3.1 Factors a to correct for different percentages of permanganate used [14]

a+	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0.958	0.960	0.962	0.964	0.966	0.968	0.970	0.973	0.975	0.977
40	0.979	0.981	0.983	0.985	0.987	0.989	0.991	0.994	0.996	0.998
50	1.000	1.002	1.004	1.006	1.009	1.011	1.013	1.015	1.017	1.019
60	1.022	1.024	1.026	1.028	1.030	1.033	1.035	1.037	1.039	1.042
70	1.044									

### 3.6.4 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน

#### 3.6.4.1 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนโดยไม่ใส่ Binder

1. ชั่งเยื่อแห้งปริมาณ 28 กรัม ใส่บีกเกอร์ เติมน้ำ ทำการกระจายเยื่อจนเยื่อกระจายเป็นเส้นไม่จับกันเป็นก้อน
2. นำเยื่อที่ได้เทลงในตะแกรงขึ้นรูป ทำการรีดน้ำออก
3. นำแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแล้วไปผึ่งในที่อากาศถ่ายเทได้ดีจนแห้ง ซึ่งจะได้อแผ่นฉนวนขนาดกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1- 4 แต่เปลี่ยนปริมาณเยื่อแห้งเป็น 56, 84, 112 และ 140 กรัม ตามลำดับ

3.6.4.2 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน โดยการผสมกับ binder คือแคลเซียมซัลเฟต

1. ชั่งเยื่อและ binder ในอัตราส่วน เยื่อ ต่อ binder (1 : 1) โดยนำเยื่อใส่บีกเกอร์ เติมน้ำทำการกระจายเยื่อจนเยื่อกระจายเป็นเส้น ไม่จับกันเป็นก้อน
  2. ต่อจากนั้นทำการใส่ binder แล้วผสมให้เข้ากัน
  3. นำเยื่อที่ได้เทลงในตะแกรงขึ้นรูป ทำการรีดน้ำออก
  4. นำแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแล้ว ไปฝังในที่อากาศถ่ายเทได้ดีจนแห้ง
4. จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1- 4 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนเยื่อ ต่อ Binder เป็น 1.5 : 1 และ 2 : 1 ตามลำดับ ตามลำดับ

### 3.6.5 การทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน

3.6.5.1 ทดสอบวัดความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ขึ้นรูป

วิธีวัดความหนาแน่น ;

- 1.) วัดความหนาของแผ่นขึ้นรูปด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ ซึ่งมีทศนิยม 2 ตำแหน่ง ในแผ่นวัสดุกันความร้อน โดยเลือกจุดวัดความหนาโดยรอบแผ่นวัสดุกันความร้อน ในพื้นที่ที่เรียบสม่ำเสมอมากที่สุด 3 ครั้ง
- 2.) บันทึกผล หาค่าเฉลี่ยรวมของความหนาของแต่ละแผ่น

3.6.5.2 ทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อน (ค่า k)

- 1.) เปิดเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อน(Quios Thermal Conductivity Meter, NETZSCH รุ่น WJ-EEE-13) แบบวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ด้านเดียว ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อเตรียมหัววัดให้พร้อมใช้งาน
- 2.) เตรียมแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ขึ้นรูปจากหญ้าแฝกและฟางข้าว เรียงเป็นชั้น ให้มีความหนารวมกันมากกว่าหรือประมาณ 2 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากเนื้อวัสดุทั้งหมด
- 3.) วางหัววัดที่พร้อมใช้งานลงบนแผ่นงานที่ต้องการวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน กดปุ่ม “เริ่มการทำงาน”
- 4.) เปลี่ยนตำแหน่งวางหัววัด โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนทั้ง 2 ด้าน ด้านละ 3 ตำแหน่ง
- 5.) บันทึกค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่วัดได้ หาค่าเฉลี่ยรวมของแต่ละแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการหาสภาวะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว

ในเบื้องต้นของการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% โดยน้ำหนักของฟางข้าว และที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 12%, 14%, 16% และ 18% โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก ได้ผลการหาสภาวะในการต้มเยื่อ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงสภาวะในการต้มเยื่อของหญ้าแฝกและฟางข้าว

ฟางข้าว			หญ้าแฝก		
KOH (%)	ร้อยละของผลผลิต (%)	ปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ	KOH (%)	ร้อยละของผลผลิต (%)	ปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ
10	62.47±0.46	35.30±0.82	12	61.72±0.69	32.20±0.79
12	51.96±1.50	32.40±1.60	14	58.09±0.52	31.20±0.79
14	53.76±3.53	25.70±0.95	16	56.61±0.55	25.30±0.48
16	48.38±0.92	21.30±0.48	18	48.40±0.96	21.50±0.53

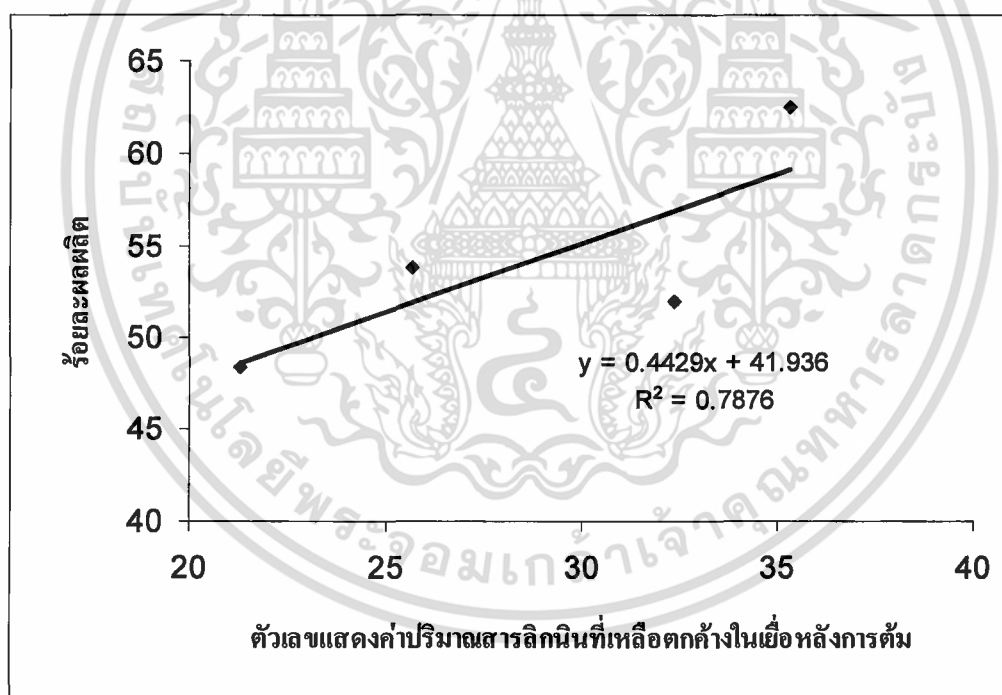
หมายเหตุ : ข้อมูลที่ได้มาจากการทำซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง

จากตารางที่ 4.1 แสดงสภาวะในการต้มเยื่อของหญ้าแฝกและฟางข้าว ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% โดยน้ำหนักของฟางข้าว ได้ค่าร้อยละของผลผลิตจากฟางข้าวเท่ากับ 62.47, 51.96, 53.76 และ 48.38 ตามลำดับ และมีปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อ 35.3, 32.4, 25.7 และ 21.3 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อนี้ เป็นค่าที่กำหนดสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตเยื่อให้ได้เยื่อที่มีคุณภาพของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกาะเกี่ยวกันได้ดี ค่าอยู่ในช่วง 25 – 30 ดังตารางที่ 3.1 Factors a to correct for different percentages of permanganate used ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมที่ควรเลือกใช้ในการผลิตเชื้อ คือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 14% โดยน้ำหนักของฟางข้าว ได้ค่าร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 53.76 และมีปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเชื้อเท่ากับ 26 แสดงดังรูปที่ 4.1 – รูปที่ 4.3

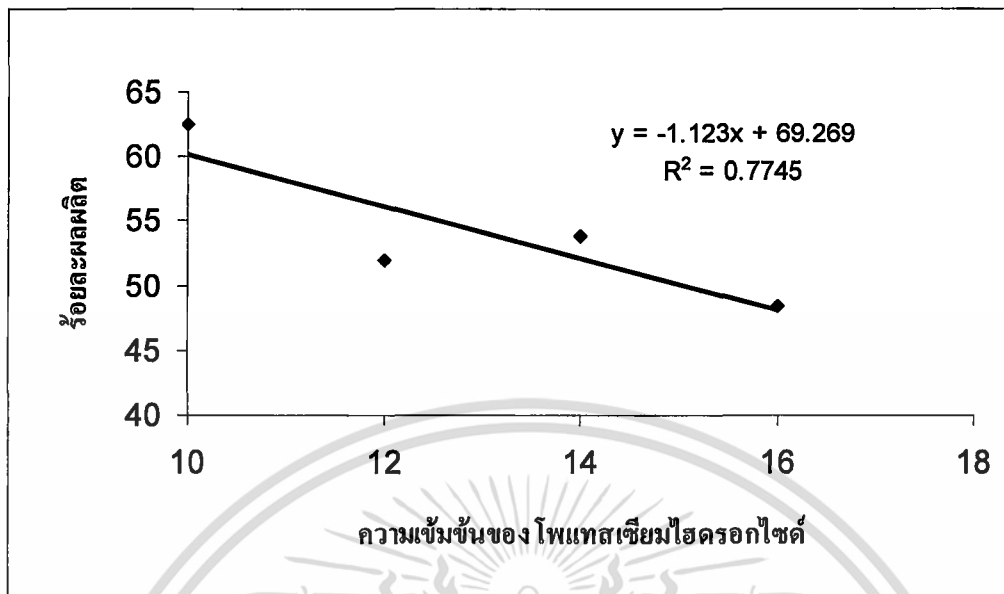
และที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 12%, 14%, 16% และ 18% โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก ได้ค่าร้อยละของผลผลิตจากหญ้าแฝกเท่ากับ 61.72 58.09 56.61 48.40 ตามลำดับ และมีปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเชื้อ 32.2, 31.2, 25.3 และ 21.5 ตามลำดับ ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมที่ควรเลือกใช้ในการผลิตเชื้อ ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 16% โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก ได้ค่าร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 56.61 และมีปริมาณสารลิกนินตกค้างในเชื้อเท่ากับ 25 ดังแสดงจากกราฟรูปที่ 4.4 – รูปที่ 4.6



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเชื้อหลังการต้มฟางข้าวกับร้อยละของผลผลิต

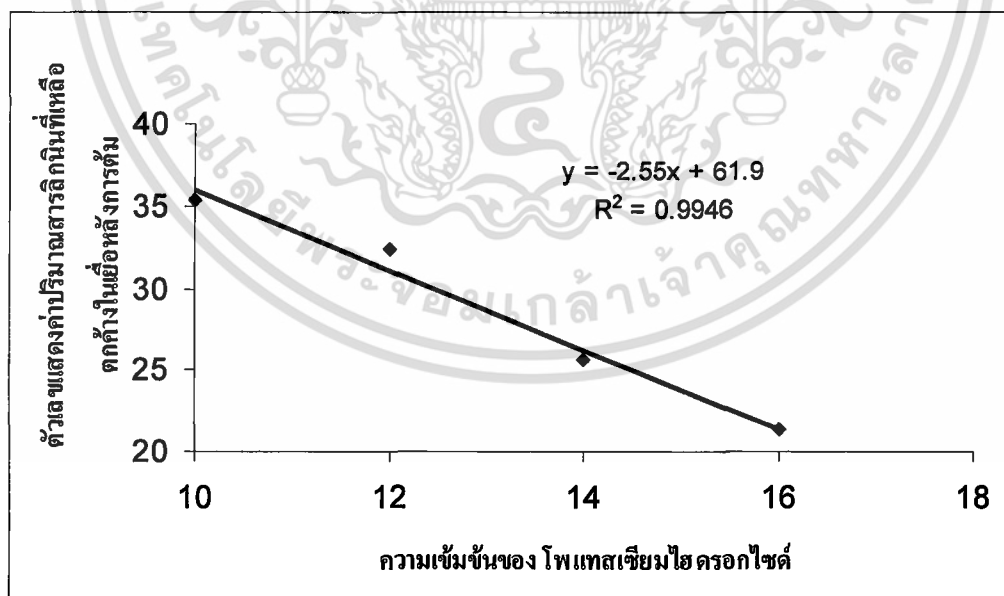
จากกราฟแสดงว่า ถ้ามีปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเชื้อหลังการต้มมากหรือค่าแคปปานัมเบอร์มาก ทำให้เปอร์เซ็นต์ร้อยละผลผลิตที่ได้จะมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% กับร้อยละผลผลิตของฟางข้าว

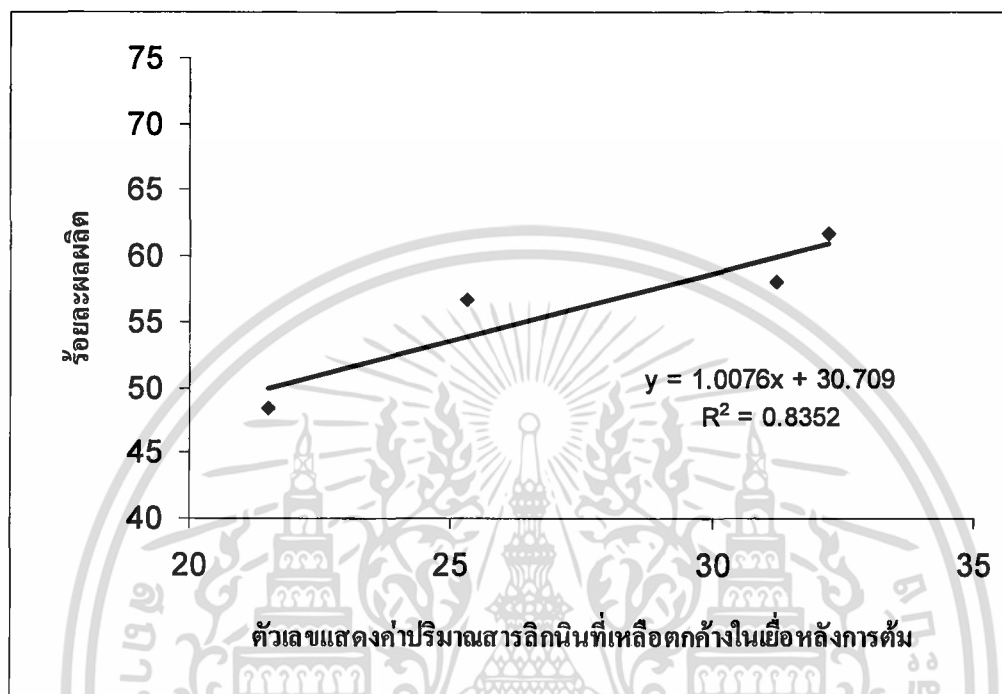
จากกราฟแสดงว่า เมื่อมีการใช้ความเข้มข้นของ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ร้อยละผลผลิตที่ได้จะลดลง



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% กับตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มฟางข้าว

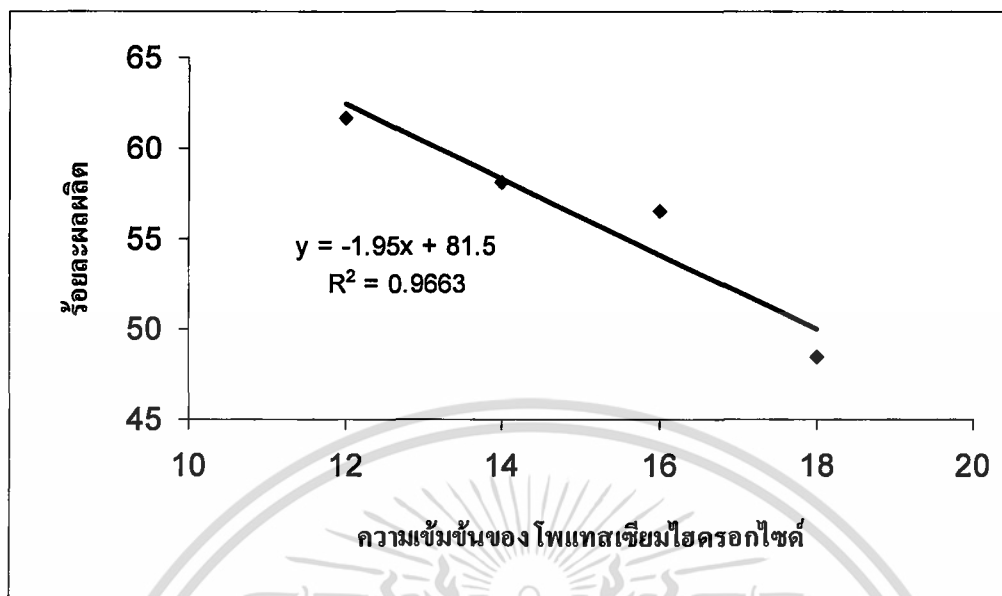
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 แสดงว่าเมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น จะพบว่า ค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อลดลง



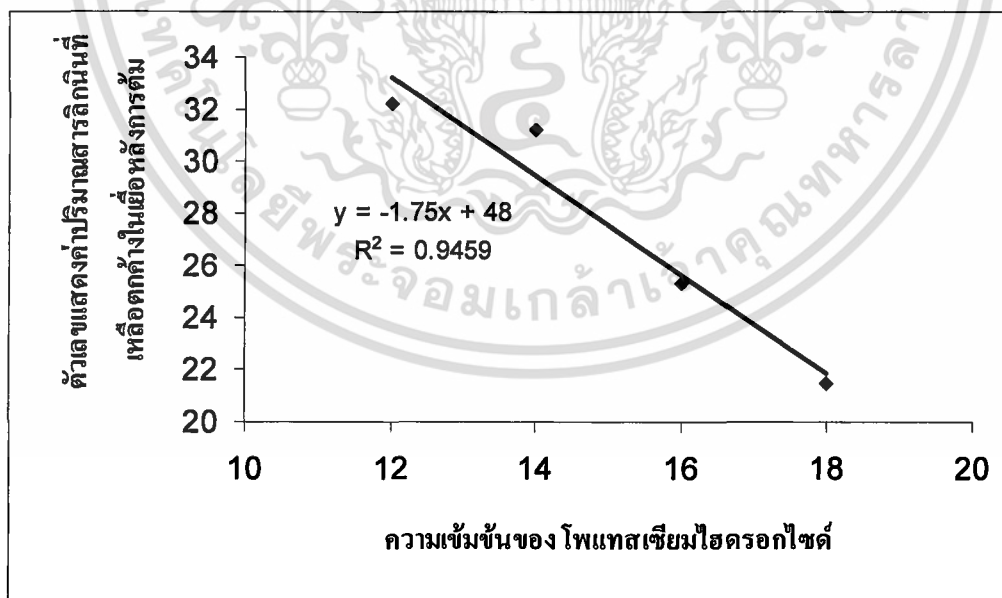
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มหน้าแฟกกับร้อยละของผลผลิต

จากกราฟแสดงว่า ถ้าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มมากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ร้อยละผลผลิตที่ได้จะมากขึ้น



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% กับร้อยละผลผลิตของกล้วยแฝก

จากกราฟจะเห็นว่า ถ้าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ร้อยละผลผลิตที่ได้ลดลง



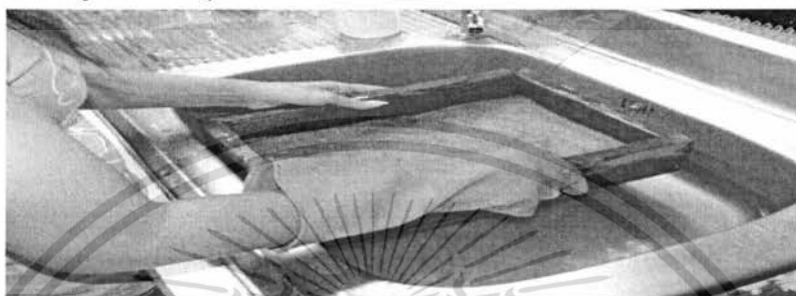
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 12%, 14%, 16% และ 18% กับตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มกล้วยแฝก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 แสดงว่า เมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น ทำให้ปริมาณสารลิกนินที่หลุดตกค้างในเชื้อลดลง

#### 4.2 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน

##### 4.2.1 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน ไม่ผสมสารยึดติด



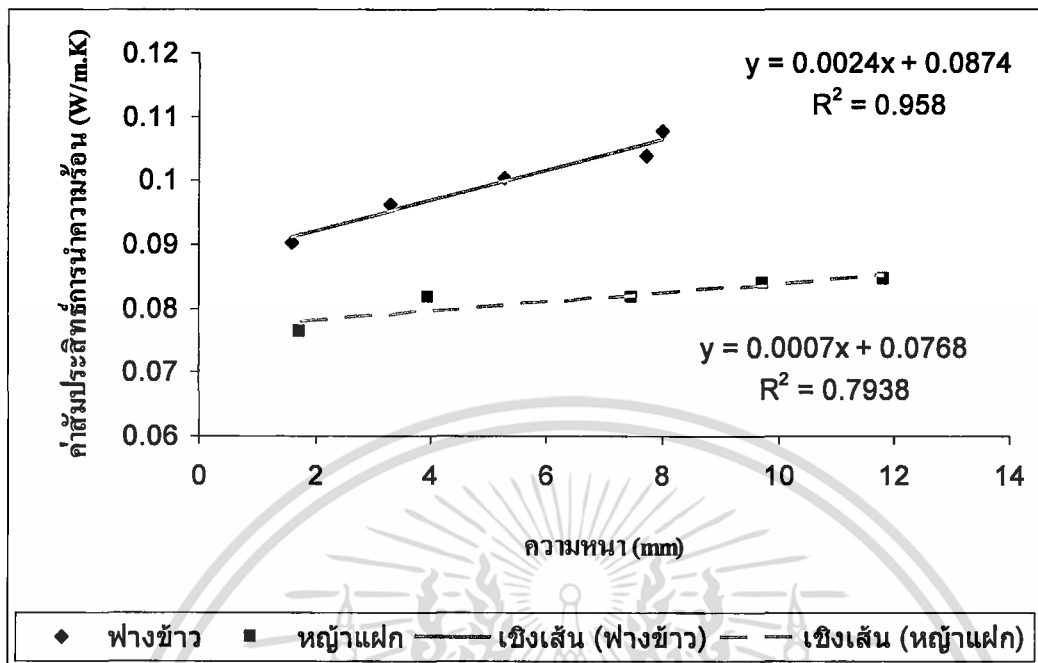
รูปที่ 4.7 แสดงการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากตะแกรงขึ้นรูป

ในการศึกษาสมบัติการนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าว ผู้วิจัยได้ทำการขึ้นรูปตัวอย่างแผ่นวัสดุกันความร้อนตามกระบวนการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยใช้ความหนาที่กำหนดเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน แสดงตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆของหญ้าแฝกและฟางข้าวที่ไม่ผสมสารยึดติด

ฟางข้าว (R)		หญ้าแฝก (G)	
ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)
1.60	0.0903±0.0028	1.73	0.0763±0.0023
3.30	0.0964±0.0028	3.94	0.0819±0.0045
5.26	0.1004±0.0069	7.47	0.0818±0.0001
7.73	0.1039±0.0020	9.75	0.0839±0.0032
7.99	0.1077±0.0031	11.82	0.0846±0.0003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาณของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆ

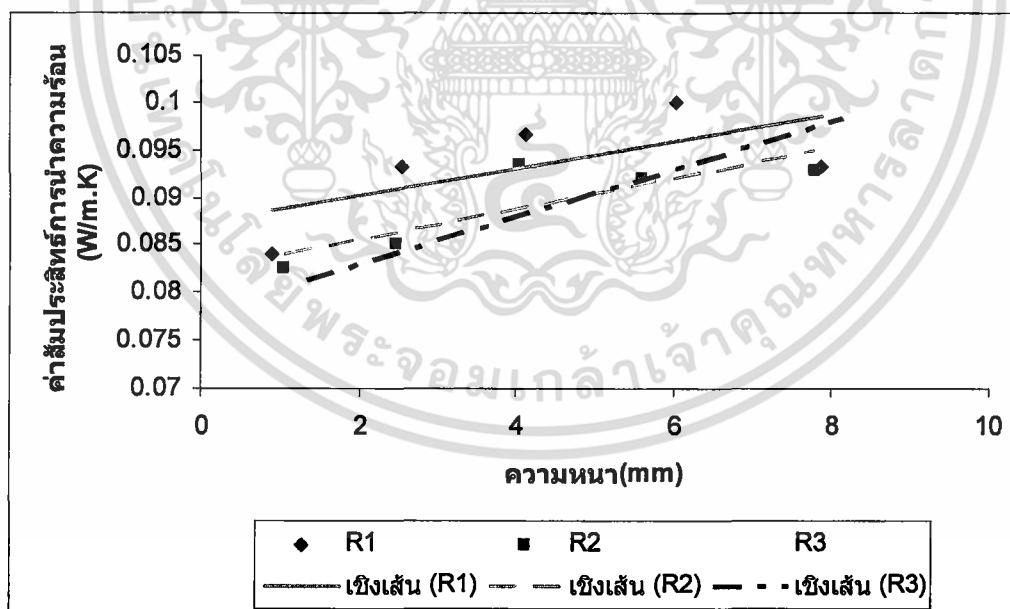
จากการกำหนดค่าความหนา 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร ของแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหล้าแฝกและฟางข้าว เมื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนผลที่ได้แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่วัดได้จากแผ่นวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยเยื่อจากฟางข้าวมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่วัดได้จากแผ่นวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยเยื่อจากหล้าแฝก แต่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแต่ละความหนาแตกต่างกันไม่มาก จึงแสดงให้เห็นว่าความหนาไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และแสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นฉนวนลดลงเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น

และสามารถบ่งชี้ได้ว่า เยื่อของหล้าแฝกมีความเป็นฉนวนมากกว่าเยื่อของฟางข้าว เพราะหล้าแฝกมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าฟางข้าว ในขณะที่ความหนาของ เยื่อทั้งสองชนิดหนาใกล้เคียงกัน

#### 4.2.2 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวผสมสารยึดติด

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของฟางข้าว

ฟางข้าวผสมสารยึดติดในสัดส่วน					
1:1		1.5:1		2:1	
ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)
0.88	0.0841±0.0010	1.04	0.0825±0.0017	1.34	0.0789±0.0033
2.55	0.0932±0.0004	2.46	0.0850±0.0010	2.41	0.0836±0.0003
4.13	0.0967±0.0001	4.05	0.0935±0.0021	4.3	0.0935±0.0006
6.03	0.0999±0.0010	5.61	0.0920±0.0053	6.24	0.0931±0.0007
7.86	0.0933±0.0003	7.78	0.0929±0.0010	8.14	0.0967±0.0005



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของฟางข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

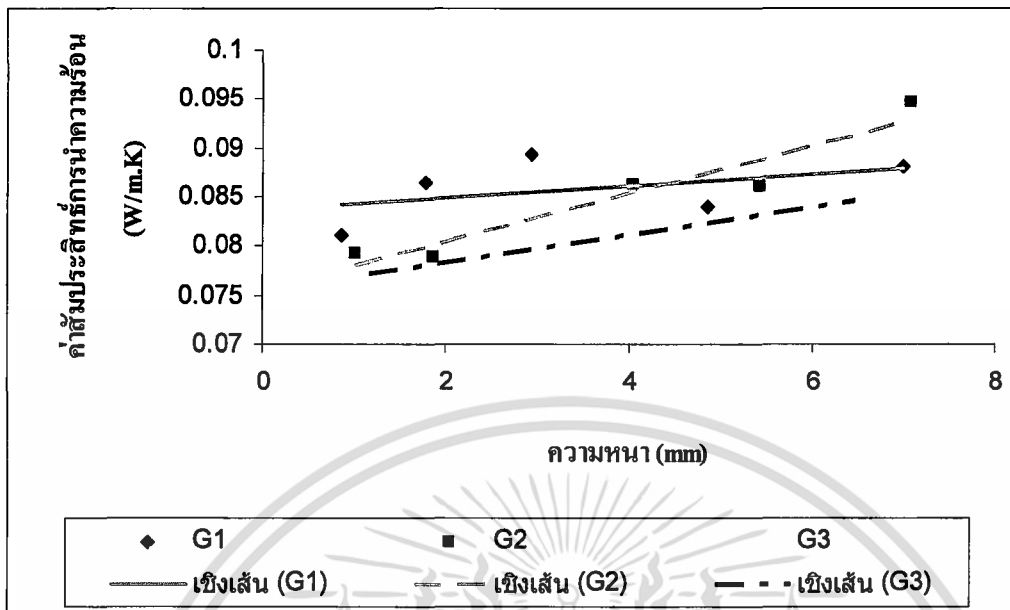
จากรูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของฟางข้าว ซึ่งแทนเป็น R1, R2 และ R3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณสารยึดติด R1 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยความหนาที่ขึ้นรูปได้เป็น 0.88, 2.55, 4.13, 6.03 และ 7.86 มิลลิเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเป็น 0.0841, 0.0932, 0.0967, 0.0999 และ 0.0933 W/m.K ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ R2 และ R3 ที่ความหนาใกล้เคียงกันค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ไม่แตกต่างกันและมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนไม่เกิน 0.1000 W/m.K

#### 4.2.3 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกผสมสารยึดติด

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆที่ปริมาณสารยึดติด1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก

หญ้าแฝกผสมสารยึดติดในสัดส่วน					
1:1		1.5:1		2:1	
ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)
0.85	0.0811±0.0006	1.01	0.0793±0.0003	1.17	0.0783±0.0009
1.78	0.0865±0.0006	1.86	0.0789±0.0001	2.65	0.0770±0.0027
2.93	0.0894±0.0006	4.06	0.0862±0.0023	3.94	0.0796±0.0001
4.87	0.0840±0.0003	5.44	0.0860±0.0007	4.05	0.0835±0.0001
6.99	0.0880±0.0037	7.07	0.0947±0.0001	6.47	0.0847±0.0021

หมายเหตุ : ข้อมูลที่ได้มาจากการทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาตรของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1 1.5:1 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก

จากรูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาตรของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก ซึ่งแทนเป็น G1, G2 และ G3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณสารยึดติด G1 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนค่อนข้างคงที่ อยู่ในช่วง 0.0811 – 0.0898 W/m.K ที่ความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อน 0.85, 1.78, 2.93, 4.87 และ 6.99 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้นจึงถือได้ว่าความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่มีปริมาณสารยึดติดผสมอยู่ในสัดส่วน 1:1 ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ G2 และ G3 มีการเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อเพิ่มความหนา มีค่าใกล้เคียงกัน สาเหตุเนื่องมาจากปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้น และปริมาณสารยึดติดลดลง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

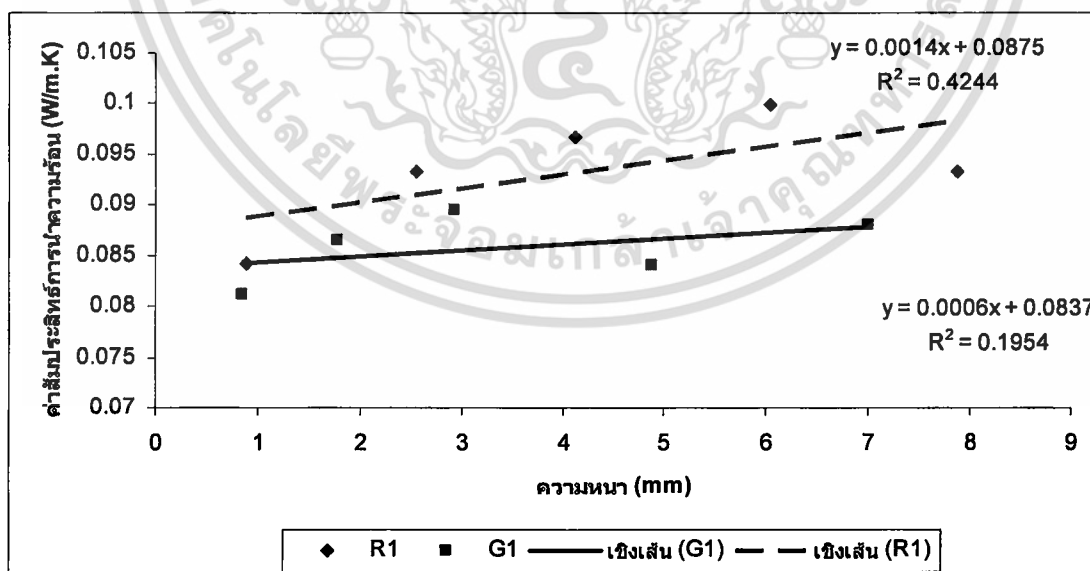
#### 4.3 ผลการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน

เพื่อแสดงให้เห็นว่า แผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตจากหญ้าแฝกและฟางข้าวมีความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้จากหญ้าแฝกกับฟางข้าว ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ผลการเปรียบเทียบมีค่าดังตารางที่ 4.5 และแสดงดังรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1

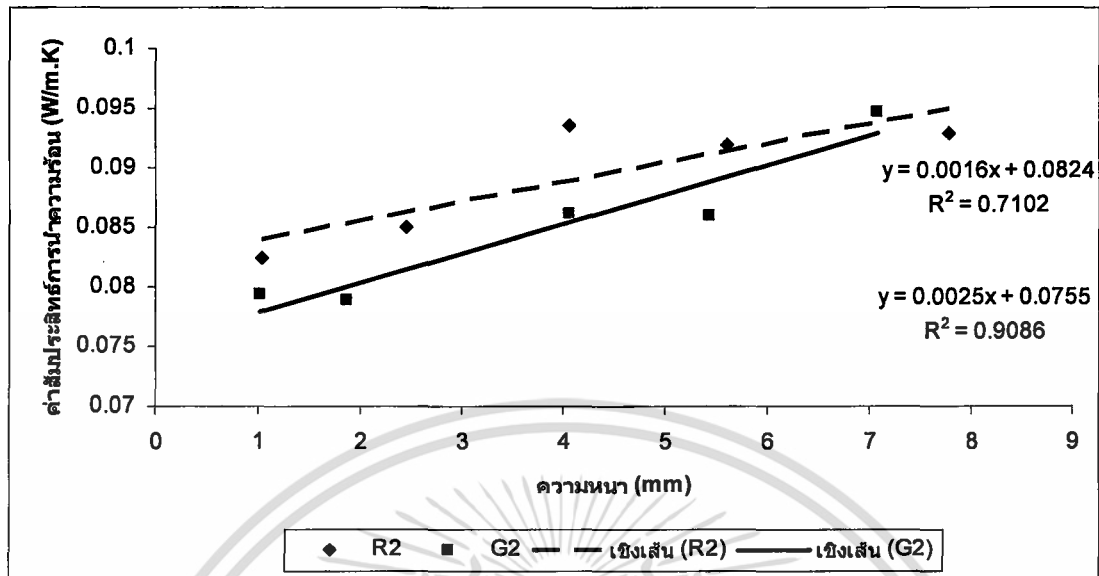
ปริมาณสารยึดติด	ความหนา(mm)		ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(W/m.K)	
	ฟางข้าว(R)	หญ้าแฝก (G)	ฟางข้าว(R)	หญ้าแฝก (G)
1:1	0.88	0.85	0.0841±0.0010	0.0811±0.0006
	2.55	1.78	0.0932±0.0004	0.0865±0.0006
	4.13	2.93	0.0967±0.0001	0.0894±0.0006
	6.03	4.87	0.0999±0.0010	0.0840±0.0003
	7.86	6.99	0.0933±0.0003	0.0880±0.0037
1.5:1	1.04	1.01	0.0825±0.0017	0.0793±0.0003
	2.46	1.86	0.0850±0.0010	0.0789±0.0001
	4.05	4.06	0.0935±0.0021	0.0862±0.0023
	5.61	5.44	0.0920±0.0053	0.0860±0.0007
	7.78	7.07	0.0929±0.0010	0.0947±0.0001
2:1	1.34	1.17	0.0789±0.0033	0.0789±0.0033
	2.41	2.65	0.0836±0.0003	0.0836±0.0003
	4.30	3.94	0.0935±0.0006	0.0935±0.0006
	6.24	4.05	0.0931±0.0007	0.0931±0.0007
	8.14	6.47	0.0967±0.0005	0.0967±0.0005

หมายเหตุ : ข้อมูลที่ได้มาจากตารางที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่งนำเสนอในรูปแบบการเปรียบเทียบผลระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 3 อัตราส่วน โดยเปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกกับฟางข้าว

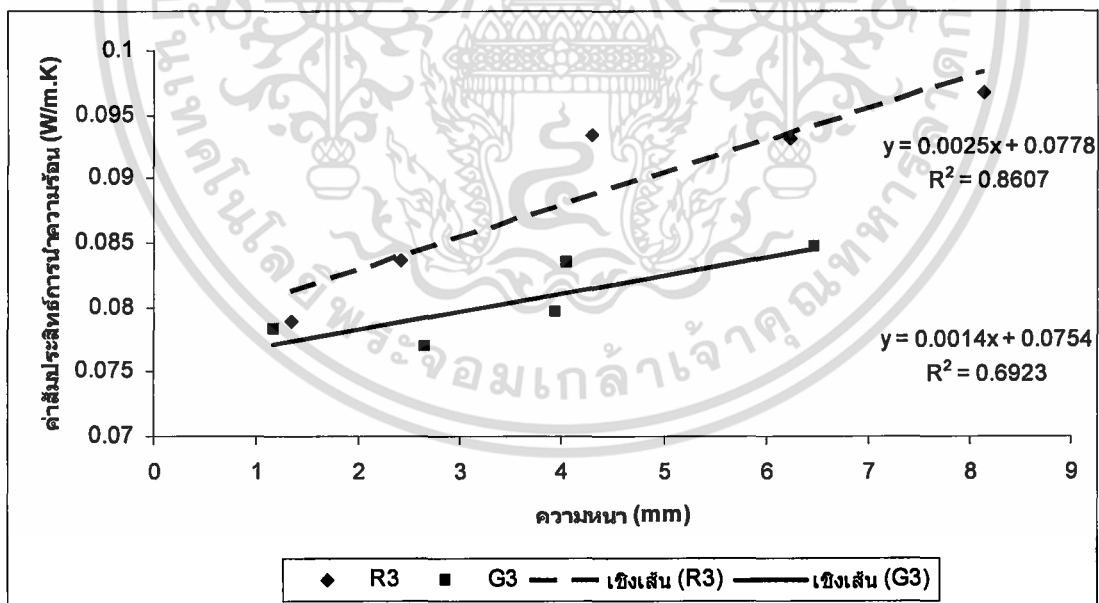


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1 โดยนำหนักของหญ้าแฝก (G1) และฟางข้าว (R1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1.5:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก (G2) และฟางข้าว (R2)



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก (G3) และฟางข้าว (R3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 – 4.12 เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาใกล้เคียงกัน ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ทำให้ทราบได้ว่าแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตจากฟางข้าวมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากกว่า แผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตจากหญ้าแฝกในทุกสัดส่วน แสดงว่าหญ้าแฝกมีค่าความเป็นฉนวนที่ดีกว่าฟางข้าว และเมื่อเพิ่มสัดส่วนเยื่อเกี่ยวกับปริมาณสารยึดติดเป็น 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงตามการเพิ่มปริมาณเยื่อ ซึ่งให้เห็นว่าที่สัดส่วนปริมาณสารยึดติด 2:1 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อยกว่าสัดส่วนปริมาณสารยึดติด 1.5:1 และ 1:1 ตามลำดับ ดังนั้นที่สัดส่วนปริมาณสารยึดติด 2:1 มีสมบัติความเป็นฉนวนได้ดีที่สุด

จะเห็นได้ว่า จากรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของหญ้าแฝกและฟางข้าวใกล้เคียง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผู้ทำการวิจัยทดลองมีการสูญเสียปริมาณสารยึดติด และเยื่อไปทำให้ได้ผลการทดสอบออกมาไม่แตกต่างกันเท่าที่ควร

#### 4.4 ผลการเปรียบเทียบแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผสมสารยึดติดกับ ไม่ผสมสารยึดติด คือ แคลเซียมซัลเฟต

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของหญ้าแฝกและฟางข้าวที่ผสมปริมาณสารยึดติดในสัดส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 และที่ไม่ผสมสารยึดติด

ชนิด	ไม่ผสมสารยึดติด		ผสมสารยึดติด							
			1:1		1.5:1		2:1			
	ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)	ความหนา (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)
ฟางข้าว	1.60	0.0903±0.0028	0.88	0.0841±0.0010	1.04	0.0825±0.0017	1.34	0.0789±0.0033		
	3.30	0.0964±0.0028	2.55	0.0932±0.0004	2.46	0.0850±0.0010	2.41	0.0836±0.0003		
	5.26	0.1004±0.0069	4.13	0.0967±0.0001	4.05	0.0935±0.0021	4.30	0.0935±0.0006		
	7.73	0.1039±0.0020	6.03	0.0999±0.0010	5.61	0.0920±0.0053	6.24	0.0931±0.0007		
	7.99	0.1077±0.0031	7.86	0.0933±0.0003	7.78	0.0929±0.0010	8.14	0.0967±0.0005		
หญ้าแฝก	1.73	0.0763±0.0023	0.85	0.0811±0.0006	1.01	0.0793±0.0003	1.17	0.0789±0.0033		
	3.94	0.0819±0.0045	1.78	0.0865±0.0006	1.86	0.0789±0.0001	2.65	0.0836±0.0003		
	7.47	0.0818±0.0001	2.93	0.0894±0.0006	4.06	0.0862±0.0023	3.94	0.0935±0.0006		
	9.75	0.0839±0.0032	4.87	0.0840±0.0003	5.44	0.0860±0.0007	4.05	0.0931±0.0007		
	11.82	0.0846±0.0003	6.99	0.0880±0.0037	7.07	0.0947±0.0001	6.47	0.0967±0.0005		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟางข้าวเมื่อไม่ผสมสารยึดติดและผสมสารยึดติดในสัดส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความหนา ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่มีค่าต่างกันไม่เกิน  $0.01 \text{ W/m.K}$  ทั้งที่ผสมปริมาณสารยึดติดและไม่ผสมปริมาณสารยึดติด ทำให้ทราบว่าความหนาไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน แต่เมื่อลดสัดส่วนของปริมาณสารยึดติดและเพิ่มปริมาณวัตถุดิบเชื้อ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะลดลง ดังปริมาณสารยึดติดในสัดส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำที่สุด คือ ปริมาณสารยึดติดในสัดส่วน 2:1 โดยน้ำหนักของฟางข้าวเท่ากับ  $0.0789 \text{ W/m.K}$  และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของหญ้าแฝกเป็นในลักษณะเดียวกันแต่มีค่าน้อยกว่าฟางข้าว และที่ปริมาณสารยึดติดในสัดส่วน 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝกอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าที่ปริมาณสารยึดติดในสัดส่วน 1.5:1 และ 1:1 และไม่ผสมสารยึดติด ตามลำดับ จึงมีคุณสมบัติของความเป็นฉนวนที่ดีที่สุด

#### 4.5 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้ กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์

เพื่อแสดงให้เห็นว่าแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตจากหญ้าแฝกและฟางข้าว มีความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้กับฉนวนความร้อนอื่น ๆ ที่มีการทดลองและสรุปเป็นรายงานไว้แล้ว[21] ผลการเปรียบเทียบแสดงได้ดังตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าว มีค่าต่ำกว่าแผ่นยิปซัมตราช้างชนิดทนความร้อน แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดอลูมิเนียมฟอยล์ แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดธรรมดา แผ่นเซลโลกรีตชนิดธรรมดา แผ่นไม้อัด ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า แผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีประเภทหนึ่ง

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากหญ้าแฝกและ ฟางข้าวกับแผ่นวัสดุประเภทอื่นๆ

วัสดุประเภทต่างๆ	ความหนา (mm)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	การนำความร้อน (W/m.K)	หมายเหตุ
แผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวที่ ความเข้มข้นของสารละลาย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 14%	0.2	23.2799	0.0903	จากผลการ ทดลอง
	0.4	22.7801	0.0964	
	0.6	21.1139	0.1004	
	0.8	19.7413	0.1039	
	10.0	23.9773	0.1077	
แผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกที่ ความเข้มข้นของสารละลาย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 16%	0.2	21.4223	0.0763	จากผลการ ทดลอง
	0.4	19.7792	0.0819	
	0.6	15.6216	0.0818	
	0.8	15.8828	0.0839	
	10.0	53.8763	0.0846	
แผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวที่ ปริมาณสารยัดติด 2:1 โดยน้ำหนักของ ฟางข้าว	0.2	20.8372	0.0789	จากผลการ ทดลอง
	0.4	27.4818	0.0836	
	0.6	24.7094	0.0935	
	0.8	24.4507	0.0931	
	10.0	23.5810	0.0967	
แผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวที่ ปริมาณสารยัดติด 2:1 โดยน้ำหนักของ หญ้าแฝก	0.2	22.6456	0.0783	จากผลการ ทดลอง
	0.4	23.3402	0.0770	
	0.6	21.5751	0.0796	
	0.8	23.1500	0.0835	
	10.0	19.6293	0.0847	
แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดทนความชื้น		775	0.2973	วัสดุฉนวน ประเภทอื่น [21]
แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดอลูมิเนียมฟอยล์		745	0.3215	
แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดธรรมดา		725	0.3058	
แผ่นเซต โลกรีดชนิดธรรมดา		608	0.1143	
แผ่นไม้อัด		907	0.2290	
แผ่นพอลิยูรีเทนโฟม		55	0.0303	
ใยแก้ว		69	0.0410	
ใยแก้วอลูมิเนียมฟอยล์ 1 ด้าน		130	0.0460	
แผ่นฉนวนยาง		74	0.0483	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้ กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์

ชนิดชิ้นงาน	ข้อดี	ข้อเสีย
แผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้	<ul style="list-style-type: none"> <li>● สภาพการนำความร้อนต่ำ</li> <li>● น้ำหนักเบา</li> <li>● ง่ายต่อการคมนาคม และการขนย้าย</li> <li>● ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม</li> <li>● เข้ากระบวนการผลิตใหม่ได้เมื่อเสื่อมสภาพ</li> <li>● นำสิ่งเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์</li> <li>● นำไปประยุกต์ใช้ได้ง่าย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● สภาพการซึมเข้าไปได้ของน้ำสูง</li> <li>● อาจยุบตัวตามอายุ</li> <li>● สามารถขึ้นราได้ง่าย</li> <li>● ติดไฟได้แต่ความสามารถในการต้านไฟลดลงเมื่อใช้สารหน่วงไฟใหม่</li> <li>● หักเพราะได้</li> </ul>
แผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์ (ใยแก้ว) [1]	<ul style="list-style-type: none"> <li>● สภาพการนำความร้อนต่ำ</li> <li>● ราคาต่ำในรูปของเส้นใยอัดแผ่นแบบคลุมแบบลูสฟิลล์สำหรับฉนวนหุ้มท่อ</li> <li>● ไม่เป็นพิษและการดูดซึมน้ำต่ำมีความเสถียรภาพดี</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● วัสดุฉนวนใยอัดแผ่นอาจติดไฟและตัวประสานอาจลวกไหม้</li> <li>● สมรรถนะทางความร้อนถ้าไม่ใช้เปลือกหุ้มกันแทรกซึมของอากาศ</li> <li>● มีราคาปานกลางถึงสูงในรูปแบบแผ่นแข็ง</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการค้นคว้าวิจัยในโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นการศึกษา การหาสภาวะที่เหมาะสมในการ ต้มเชื้อ การทดลองขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน และปริมาณสารยึดติด ที่ใช้ในการผลิตแผ่นวัสดุ กันความร้อนจากฟางข้าวและหญ้าแฝกที่เหลือทิ้งทางการเกษตร พร้อมกับศึกษา สมบัติความเป็น ฉนวนกันความร้อน สามารถให้ผลสรุปของงานวิจัยดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 การหาสภาวะในการต้มเชื้อหญ้าแฝกและฟางข้าว

จากผลการทดลองสภาวะที่เหมาะสมที่ควรเลือกใช้ในการผลิตเชื้อคือ ที่ปริมาตร สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 14% โดยน้ำหนักของฟางข้าว ซึ่งได้ค่าร้อยละของผลผลิตจาก ฟางข้าวเท่ากับ 53.76 และมีปริมาณลิกนินตกค้างในเชื้ออยู่ในช่วง 25 – 30 คือ 26

ส่วนหญ้าแฝก สภาวะที่เหมาะสมที่ควรเลือกใช้ในการผลิตเชื้อที่ปริมาตร สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 16% โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก ซึ่งได้ค่าร้อยละของผลผลิต จากหญ้าแฝกเท่ากับ 56.61 และมีปริมาณลิกนินตกค้างในเชื้อเท่ากับ 25

##### 5.1.2 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน

###### 5.1.2.1 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติด

จากผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าวไม่ผสม สารยึดติด จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแต่ละความหนาแตกต่างกันไม่มาก ซึ่งให้เห็นว่าความหนาไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน แสดงว่าค่าความเป็นฉนวนลดลง เมื่อปริมาณเชื้อเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝก มีค่าต่ำกว่าแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าว ในขณะที่ความหนาของทั้งสองชนิดหนาใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า หญ้าแฝกมีความเป็นฉนวนมากกว่าฟางข้าว

### 5.1.2.2 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวผสมสารยึดติด

ที่ปริมาณสารยึดติด R1 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ R2 และ R3 ที่ความหนาใกล้เคียงกันค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ไม่แตกต่างกันและมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนไม่เกิน  $0.1000 \text{ W/m.K}$

### 5.1.2.3 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกผสมสารยึดติด

ที่ปริมาณสารยึดติด G1 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนค่อนข้างคงที่ในช่วง  $0.0811 - 0.0898 \text{ W/m.K}$  ที่ความหนาต่างๆ ดังนั้นจึงถือได้ว่าความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่มีปริมาณสารยึดติดผสม 1:1 ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน แต่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ G2 และ G3 มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อเพิ่มความหนาที่ใกล้เคียงกัน

### 5.1.3 ผลการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน

พบว่า ที่ปริมาณสารยึดติดของแผ่นที่มีปริมาณน้อยจะมีสมบัติในการนำความร้อนที่ต่ำ ที่ปริมาณสารยึดติดของแผ่นที่มีปริมาณมากขึ้นมีแนวโน้มค่าการนำความร้อนสูงตามไปด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นที่มีปริมาณสารยึดติด 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝกและฟางข้าว จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณสารยึดติดเพิ่มขึ้นเป็น 1.5:1 และ 1:1 ตามลำดับ และยังสามารถสรุปได้ว่าที่ปริมาณสารยึดติดเดียวกัน แผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าว แสดงให้เห็นว่า หญ้าแฝกมีความเป็นฉนวนได้ดีกว่าฟางข้าว

### 5.1.4 ผลการเปรียบเทียบแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผสมสารยึดติดกับไม่ผสมสารยึดติด

ผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟางข้าวเมื่อไม่ผสมสารยึดติดและผสมสารยึดติดในสัดส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความหนา ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ และมีค่าต่างกันไม่เกิน  $0.01 \text{ W/m.K}$  ค่าความหนาไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน แต่เมื่อลดสัดส่วนของปริมาณสารยึดติดและเพิ่มปริมาณวัสดุดิบเยื่อ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะลดลง ซึ่งสัดส่วนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำที่สุด คือ ปริมาณสารยึดติด 2:1 จึงมีคุณสมบัติของความเป็นฉนวนที่ดีที่สุด

### 5.1.5 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้ กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์

จากผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าว มีค่าต่ำกว่าแผ่นยิปซัมตราช้างชนิดทนความร้อน แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดอคูมิเนียมฟอยล์ แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดธรรมดา แผ่นเซลโลกรีตชนิดธรรมดา แผ่นไม้อัด และข้อดีที่โดดเด่นของชิ้นงานที่ผลิตได้คือ มีน้ำหนักเบา มากกว่าแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์ ที่เป็นใยแก้วซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกัน ง่ายต่อการขนย้าย แต่มีค่าความชื้นที่สูงกว่าและอาจขึ้นราได้ง่าย ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า แผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีประเภทหนึ่ง

จากงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า จากการศึกษาคือความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้ง 2 ชนิด มาผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อนความร้อน มีสมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีประเภทหนึ่ง

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะการดำเนินงานวิจัย

สำหรับปัญหาและข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยในครั้งนี้เพื่อที่จะต้องนำไปปรับปรุงในการทำวิจัยและเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ในการทำวิจัยในครั้งต่อไป

5.2.1 ตะแกรงขึ้นรูปที่ใช้ในการทดลองขึ้นรูป มีเสถียรภาพปริมาตรที่ไม่ชัดเจน ทำให้แผ่นที่ขึ้นรูปมีความหนาที่ไม่เท่ากันทั้งแผ่น ส่งผลทำให้บางจุดหนามากบางจุดบาง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ได้อาจไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากผลิตด้วยมือ

5.2.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปมีการสูญเสียปริมาณสารยึดติด และปริมาณเยื่อออกไปทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ได้มีค่าแปรปรวนไปจากความเป็นจริง

5.2.2 ศึกษาชนิดและปริมาณสารยึดติดที่นำมาใช้ ผลิตฉนวนกันความร้อนที่แตกต่างกันออกไปเพื่อศึกษาสมบัติเชิงความร้อน คือ ค่าความต้านทานความร้อน สมบัติเชิงกายภาพ คือ ค่าการดูดซับน้ำ และสมบัติเชิงกล คือ ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น และค่าความแข็งแรงทนการกระแทก รวมทั้งการติดไฟ และการขึ้นราของแผ่นที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายๆ ชนิด

5.2.3 ควรทำการประเมินศักยภาพทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตด้วย เพื่อนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

5.2.4 เพื่อลดการใช้สารเคมีในการต้มและวัตถุดิบ การนำเยื่อที่ไม่ได้คุณภาพหรือของเสียกลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาผสมกับวัตถุดิบใหม่ เพื่อทำการผลิตเยื่อในครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. ตระการ ก้าวกลีกรรม, 2537, “คู่มือฉนวนความร้อน,” พิมพ์ครั้งที่ 1, เอ็มแอนดีอี, 312 หน้า.
2. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2543, “การใช้ฉนวน,” เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 58 หน้า.
3. American Society for Testing and Materials, 1985, “ASTM C 177 Standard Test Methods for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus,” In Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.06, Philadelphia, ASTM. pp. 20-31.
4. สุชาติ ไทยเพชร, 2541. ไม้ : วัสดุจากธรรมชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 2. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.
5. รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์. 2546. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระดาษ. ใน“เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชากระบวนการเคมีอุตสาหกรรม”. กรุงเทพฯ : กองการวิจัยกรมวิทยาศาสตร์บริการ.
6. นวกรณ์ อนันตชนวนิชย์, นุชรี ปัญจะผลินกุล และพัชรี มณฑาทิพย์ 2544. “การศึกษาไม้เทียมคอมโพสิตจากผงหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีน (พีพี) และเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี)” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
7. Kuhad, R.C., 1993, “Lignocellulose Biotechnology : Current and future prospects ,” Critical Reviews in Biotechnology, Vol. 13 , No. 2 , pp. 151-172.
8. Menachem, L. And Irving, S.G. 1991. Wood Structure and Composition. New York : Marcel Dekker.
9. Banks, W.B.; Lawther, J.M., 1994, “ Derivatization of Wood in Composition ” in Cellulose Polymers, Blends and Composites. (Gillbert, R.D.ed.), Hanser Publishers, New York , 131-153.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

10. วรธรรม อุ๋นจิตติชัย 2545 รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง “วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิต จากเส้นใยหญ้าแฝกและเทอร์โมพลาสติก” ชุดโครงการวิจัย เรื่อง การวิจัยและพัฒนาปฏิสัมพันธ์ของหญ้าแฝกกับปลวก เพื่อสนองพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ เพื่อเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมโครงการที่ 1.
11. Woratham Oonjittichai, Songklod Jarusombuti, Ittipol Jangchud, Charat Chuayna, and Phornphimol Amornchot, “Biological Composites from Vetiver Grass as Wood Material Subbtitute,” 2002 , การประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2545 ด้านวัสดุทดแทนไม้, วันที่ 18-20 กันยายน 2545, หน้า 1-16.
12. เส้นทางของเศษฟางข้าว...วัสดุทดแทนไม้ที่มีอนาคต, วันที่ 20 ตุลาคม 2548, สาขาพืชผัก, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
13. งานวิเคราะห์อาหารสัตว์. 2524. ผลวิเคราะห์อาหารสัตว์ กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์.
14. TAPPI PRESS., 1992, Techonology Park/Atlanta, P.O. Box Atlanta, GA 30348- 5113, U.S.A.
15. Pathak, B.S., Jain, A.K. and Singh, A., 1986, “ Characteristics of Crop Residues ,” Agricultural Wastes, Vol. 16, No. 1, pp. 27-35.
16. Sampathrajan, A., Vijayaraghavan, N.C. and Swaminathan, K.R., 1992, “ Mechanical and Thermal Properties of Particle boards made from farm residues ,” Bioresource Technology, Vol. 40, No. 3, pp. 249-251.
17. Paturau, J.M., 1982, “ By- products of the Cane Sugar Industry ,” Sugar series 3. 2 nd ed. Elsevier, Amsterdam. Pp. 76-119.
18. Suttisonk, B., 1999, “ Investigation of Feasibility of Utilizing Agriculture Waste (fruit) as a Component of Building Materials with Low Thermal Conductivity ,” Master of Science Thesis, Energy Management Technology Program, King Mongkut' s University of Technology Thonburi, 67 p.
19. รัตติยา มณีศรี, ปิยะวัฒน์ ช่างเพชร และ ปิติ อมรศิลป์, 2539, “ การพัฒนาการใช้วัชพืชเพื่อทดแทนไฟเบอร์บอร์ด ,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 95 หน้า .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. ประยูร สุรินทร์, 2544, “ การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติของแผ่นฉนวนความร้อนจากขานอ้อย ,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี, 99 หน้า.
21. คณะพลังงานและวัสดุ, 2541, “ คู่มือวัสดุก่อสร้าง ” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 92 หน้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### คำที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเยื่อ

R - 0.2 /1	คือ ฟางข้าวขนาดความหนา 0.2 มิลลิเมตร แผ่นทดสอบที่ 1
R1 - 0.2 /1	คือ ฟางข้าว + binder ขนาดความหนา 0.2 มิลลิเมตร แผ่นทดสอบที่ 1
G - 0.2 /1	คือ หญ้าแฝกขนาดความหนา 0.2 มิลลิเมตร แผ่นทดสอบที่ 1
G1 - 0.2 /1	คือ หญ้าแฝก + binder ขนาดความหนา 0.2 มิลลิเมตร แผ่นทดสอบที่ 1
Time to temp	คือ อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิเดือด
Time at temp	คือ อุณหภูมิที่คงที่เมื่อเริ่มจับเวลา
Maximum temperature	คือ อุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ
Water added	คือ น้ำหนักน้ำที่ใช้ – น้ำหนักความชื้นในวัตถุดิบ – น้ำหนักสารเคมีที่ใช้
Gram oven dry, (g.o.d)	คือ น้ำหนักวัตถุดิบแห้งลบความชื้นออก
Gram air dry, (g.a.d)	คือ น้ำหนักวัตถุดิบที่ยังไม่ได้ลบความชื้นออก
Kappa number	คือ เป็นตัวตรวจวัดปริมาณ lignin ในเยื่อหลังจากผ่านกระบวนการผลิตเยื่อ
14%KOH	คือ วัตถุดิบ 100 กรัมแห้ง ต้องใช้ KOH 14 กรัมแห้ง
8:1	คือ ปริมาตรของสารละลาย 8 ลิตรต่อวัตถุดิบ 1 กิโลกรัม
การหาสภาวะที่เหมาะสม คือ	
1. ปริมาณสารเคมี	: จะต้องใช้ปริมาณสารเคมีเท่าไรจึงจะได้สภาวะที่เหมาะสม
2. ปริมาณน้ำ	: จะต้องไม่แห้งทำให้สารเคมีลดน้อยลงหรือมากขึ้น
3. จำนวนเวลา	: คิดเวลาในการต้มเยื่อว่าใช้เวลาที่ชั่วโมงจึงเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ข**  
**การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น, การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง**  
**และการหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของวัตถุดิบ**

**วิธีการหาความชื้นของวัตถุดิบ :**

1. ชั่งภาชนะอย่างน้อย 3 ใบ เป็นกรัม
2. เติมวัตถุดิบที่ต้องการลงในภาชนะที่แห้งซึ่งชั่งแล้วจะได้น้ำหนักของวัตถุดิบที่ต้องการหา แล้วทำการอบอย่างน้อย 4 ชั่วโมง หรือทิ้งไว้ค้างคืน
3. นำมาใส่ Desicator เพื่อให้เย็นตัวลง แล้วทำการชั่ง (น้ำหนัก+วัตถุดิบ)
4. คำนวณ % ความชื้น

$$\begin{aligned} \% \text{ ความชื้น} &= \frac{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเปียก} - \text{น้ำหนักวัตถุดิบแห้ง}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเปียก}} \times 100 \\ &= \frac{1.00 - 0.17}{1.00} \times 100 \\ &= 83 \quad \% \end{aligned}$$

**วิธีการหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง :**

$$\begin{aligned} \% \text{ dry weight} &= \frac{\text{น้ำหนักวัตถุดิบแห้ง}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเปียก}} \times 100 \\ &= \frac{0.17}{1.00} \times 100 \\ &= 17 \quad \% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังผ่านการยี้เยื่อ :

$$\begin{aligned} \% \text{ ความชื้น} &= \frac{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเปียก} - \text{น้ำหนักวัตถุดิบแห้ง}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเปียก}} \times 100 \\ &= \frac{10.00 - 2.20}{10.00} \times 100 \\ &= 78 \% \end{aligned}$$

วิธีการหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งหลังผ่านการยี้เยื่อ :

$$\begin{aligned} \% \text{ dry weight} &= \frac{\text{น้ำหนักวัตถุดิบแห้ง}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเปียก}} \times 100 \\ &= \frac{2.20}{10.00} \times 100 \\ &= 22 \% \end{aligned}$$

วิธีการหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตหลังผ่านการยี้เยื่อ :

คิดจาก เยื่อเปียก 100 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง 22 g.

เยื่อเปียก 1,284.29 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง =  $\frac{22}{100} \times 1,284.29 = 282.54$  g.

ถ้าวัตถุดิบ 500 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง 282.54 g.

ถ้าวัตถุดิบ 100 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง =  $\frac{282.54}{500} \times 100 = 56.51$  %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### การหาสถานะเยื่อ

วัตถุดิบ ; ฟางข้าวส่วนโคน น้ำหนัก 9.6 kg.

ฟางข้าวส่วนปลาย น้ำหนัก 10.9 kg.

% dry weight (ส่วนโคน) = 91.40 %.

% dry weight (ส่วนปลาย) = 91.40 %.

คิดเป็นอัตราส่วนปลาย : โคน = 1.14 : 1 ถ้า 2.14 ส่วน คิดเป็น 500 g.

โคน 1.14 ส่วน คิดเป็นน้ำหนัก =  $\frac{500 \times 1.14}{2.14} = 266.4 \text{ g}$ .

ปลาย 1 ส่วน คิดเป็นน้ำหนัก =  $\frac{500}{2.14} = 233.6 \text{ g}$ .

สถานะการต้มเยื่อ 14% KOH, 8 : 1, 3 ชั่วโมง

- 14%KOH ; ถ้าต้องการใช้วัตถุดิบ 100 g.o.d ต้องใช้ KOH 14 g.

ถ้าต้องการใช้วัตถุดิบ 500 g.o.d ต้องใช้ KOH =  $\frac{14}{100} \times 500 = 70 \text{ g}$ .

ข้างขวดติด KOH 85% ถ้าต้องใช้ KOH 85 g. ต้องชั่งสารมา 100 g.

ถ้าต้องใช้ KOH 70 g. ต้องชั่งสารมา =  $\frac{100}{85} \times 70 = 82.4 \text{ g}$ .

- 8 : 1 ; ถ้าต้องการใช้วัตถุดิบ 500 g. ฉะนั้นน้ำที่ใช้ คือ  $500 \times 8 = 4,000 \text{ g}$ .

Water added = ( น้ำหนักน้ำ- ความชื้นในวัตถุดิบส่วนโคน

- ความชื้นในวัตถุดิบส่วน โคน - น้ำหนักสารเคมีที่ใช้ )

= (4,000 - 21.98 - 23.17 - 82.4) = 3872.45 ml .

## ภาคผนวก ง

## การหาค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (Kappa number)

การคำนวณหาปริมาณเยื่อที่ต้องใช้ในการหาค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ

เยื่อแห้ง 22.00 g.o.d ได้จากเยื่อเปียก 100 g.

$$\text{ถ้าต้องการเยื่อแห้ง } 1.50 \text{ g.o.d จะได้จากเยื่อเปียก} = \frac{100 \times 1.5}{22.00} = 6.82 \text{ g.o.d}$$

Kappa number =  $\frac{afd}{m}$  ; เมื่อ  $a = 2(b-c)$

$$m = 1 + 0.013(25 - t)$$

d = เปิดตารางโดยใช้ค่า a เปิด

m = มวลของเยื่อ(g.o.d) ที่ใช้ในการหาแคลปานัมเบอร์

t = อุณหภูมิของ Sample

b = ปริมาตร  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ในการไทเทรต blank (ml)

c = ปริมาตร  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ใช้ในการไทเทรต blank (ml)

$$\text{Kappa Number} = \frac{afd}{m} = \frac{39 \times 0.981 \times 0.977}{1.50} = 25$$

$$m = 1.50$$

$$a = 2(49.90 - 30.60) = 38.60 \quad (\sim 39)$$

$$f = 1 + 0.013(25 - 26.5) = 0.981$$

$$d = 0.977$$

$$m = 1.50$$

ตารางที่ ง 1.1 Factors a to correct for different percentages of permanganate used [12]

a +	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0.958	0.960	0.962	0.964	0.966	0.968	0.970	0.973	0.975	0.977
40	0.979	0.981	0.983	0.985	0.987	0.989	0.991	0.994	0.996	0.998
50	1.000	1.002	1.004	1.006	1.009	1.011	1.013	1.015	1.017	1.019
60	1.022	1.024	1.026	1.028	1.030	1.033	1.035	1.037	1.039	1.042
70	1.044									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

### การหาอัตราส่วนเยื่อในการขึ้นรูป

#### เยื่อเปรี้ยว

เยื่อแห้ง 28 g. ที่ความหนา 0.2 เซนติเมตร

เยื่อเปียก 100 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง 22 g.

ถ้าเยื่อเปียก 28 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง =  $\frac{100 \times 28}{22} = 127.27$  g.

22

ดังนั้น จะต้องใช้เยื่อเปียกในการขึ้นรูป 127.27 g.

#### เยื่อผสม binder

อัตราส่วนเยื่อ : binder = 1:1 ที่ความหนา 0.2 เซนติเมตร ใช้เยื่อแห้ง 28 g.

คิดเป็นอัตราส่วนเยื่อ : binder = 14 : 14

ดังนั้น เยื่อเปียก 100 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง 22 g.

ถ้าเยื่อเปียก 14 g. =  $\frac{100 \times 14}{22} = 63.64$  g.

22

ดังนั้น ที่อัตราส่วน 1:1 จะต้องใช้เยื่อเปียกในการขึ้นรูป 63.64 g. : binder 14 g.

อัตราส่วนเยื่อ : binder = 1.5:1 ที่ความหนา 0.2 เซนติเมตร ใช้เยื่อแห้ง 16.8 g.

คิดเป็นอัตราส่วนเยื่อ : binder = 16.8 : 11.20

ดังนั้น เยื่อเปียก 100 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง 22 g.

ถ้าเยื่อเปียก 16.8 g. =  $\frac{100 \times 16.8}{22} = 76.36$  g.

22

ดังนั้น ที่อัตราส่วน 1.5:1 จะต้องใช้เยื่อเปียกในการขึ้นรูป 76.36 g. : binder 11.20 g.

อัตราส่วนเยื่อ : binder = 2:1 ที่ความหนา 0.2 เซนติเมตร ใช้เยื่อแห้ง 18.67 g.

คิดเป็นอัตราส่วนเยื่อ : binder = 18.67 : 9.33

ดังนั้น เยื่อเปียก 100 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง 22 g.

ถ้าเยื่อเปียก 18.67 g. =  $\frac{100 \times 18.67}{22} = 84.86$  g.

22

ดังนั้น ที่อัตราส่วน 2:1 จะต้องใช้เยื่อเปียกในการขึ้นรูป 84.86 g. : binder 9.33 g.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ฉ**  
**การหาสถานะในการต้มเยื่อหุ้มแผลกและฟางข้าว**

ตารางที่ ฉ 1.1 ข้อมูลการหาสถานะในการต้มเยื่อหุ้มแผลกและฟางข้าว

ครั้งที่	ผลการทดลองฟางข้าว			ผลการทดลองหุ้มแผลก		
	KOH (%)	ร้อยละของผลผลิต(%)	ปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ	KOH (%)	ร้อยละของผลผลิต(%)	ปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ
1	10	56.98	36	12	61.69	33
	12	53.88	31	14	57.89	31
	14	55.45	26	16	55.55	25
	16	49.82	21	18	49.47	21
2	10	56.45	35	12	61.32	33
	12	52.35	33	14	58.24	32
	14	56.51	24	16	56.85	25
	16	48.89	22	18	48.48	22
3	10	57.25	36	12	62.75	32
	12	55.46	31	14	57.89	32
	14	47.99	27	16	56.34	25
	16	47.53	21	18	48.69	22
4	10	57.35	34	12	60.59	32
	12	52.55	30	14	57.69	31
	14	50.51	27	16	56.89	26
	16	49.68	21	18	47.3	21
5	10	56.55	34	12	61.52	32
	12	51.98	28	14	58.64	31
	14	48.38	26	16	57.25	26
	16	48.55	22	18	49.56	21
6	10	56.68	35	12	61.89	33
	12	52.35	29	14	57.36	32
	14	54.31	25	16	56.78	25
	16	48.63	21	18	47.59	21
7	10	56.45	35	12	60.85	31
	12	55.78	31	14	58.88	30
	14	57.84	26	16	56.76	25
	16	47.34	22	18	49.66	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ฉ (ต่อ)**  
**การหาสภาวะในการต้มเยื่อหุ้มแผลกและฟางข้าว**

ตารางที่ ฉ 1.1 ข้อมูลการหาสภาวะในการต้มเยื่อหุ้มแผลกและฟางข้าว

ครั้งที่	ผลการทดลองฟางข้าว			ผลการทดลองหุ้มแผลก		
	KOH (%)	ร้อยละของผลผลิต(%)	ปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ	KOH (%)	ร้อยละของผลผลิต(%)	ปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ
8	10	56.93	36	12	62.22	33
	12	54.89	32	14	58.39	32
	14	56.76	26	16	57.35	26
	16	48.5	21	18	47.22	22
9	10	57.56	36	12	61.85	31
	12	51.68	33	14	57.44	30
	14	54.4	25	16	56.21	25
	16	47.58	21	18	47.48	22
10	10	57.69	36	12	62.55	32
	12	52.35	31	14	58.49	31
	14	55.45	25	16	56.14	25
	16	47.33	21	18	48.59	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน

ตารางที่ ข 1.1 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติดของฟางข้าว(R)

ตัวอย่างชิ้นงาน ทดสอบ	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
R - 0.2 / 1	26.29	1.57	0.0883
R - 0.2 / 2	27.18	1.62	0.0923
R - 0.4 / 1	54.13	3.31	0.0984
R - 0.4 / 2	54.12	3.29	0.0944
R - 0.6 / 1	79.92	5.28	0.1053
R - 0.6 / 2	79.85	5.23	0.0955
R - 0.8 / 1	109.84	7.75	0.1053
R - 0.8 / 2	109.76	7.70	0.1024
R - 1.0 / 1	137.86	8.00	0.1055
R - 1.0 / 2	137.84	7.97	0.1099

ตารางที่ ข 1.2 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติดของหญ้าแฝก(G)

ตัวอย่างชิ้นงาน ทดสอบ	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
G - 0.2 / 1	27.23	1.76	0.0747
G - 0.2 / 2	26.14	1.70	0.0779
G - 0.4 / 1	54.94	3.48	0.0850
G - 0.4 / 2	55.73	4.39	0.0787
G - 0.6 / 1	83.28	6.89	0.0817
G - 0.6 / 2	111.27	8.04	0.0818
G - 0.8 / 1	111.41	9.45	0.0861
G - 0.8 / 2	109.76	10.04	0.0816
G - 1.0 / 1	139.52	11.85	0.0848
G - 1.0 / 2	139.46	11.78	0.0844

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นว่าเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 1.3 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1:1 ของฟางข้าว(R1)

ตัวอย่างชิ้นงาน ทดสอบ	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
R1 - 0.2 / 1	17.53	0.95	0.0849
R1 - 0.2 / 2	15.87	0.81	0.0833
R1 - 0.4 / 1	46.45	2.51	0.0929
R1 - 0.4 / 2	47.47	2.58	0.0935
R1 - 0.6 / 1	73.13	4.03	0.0967
R1 - 0.6 / 2	76.31	4.23	0.0967
R1 - 0.8 / 1	108.94	5.86	0.1010
R1 - 0.8 / 2	109.76	6.20	0.0989
R1 - 1.0 / 1	135.70	7.74	0.0935
R1 - 1.0 / 2	135.84	7.97	0.0930

ตารางที่ ข 1.4 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1.5:1 ของฟางข้าว(R2)

ตัวอย่างชิ้นงาน ทดสอบ	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
R2 - 0.2 / 1	20.34	1.06	0.0825
R2 - 0.2 / 2	19.95	1.02	0.0850
R2 - 0.4 / 1	47.84	2.33	0.0920
R2 - 0.4 / 2	47.47	2.58	0.0935
R2 - 0.6 / 1	76.23	3.86	0.0959
R2 - 0.6 / 2	76.31	4.23	0.0929
R2 - 0.8 / 1	103.52	5.73	0.0953
R2 - 0.8 / 2	102.16	5.49	0.1029
R2 - 1.0 / 1	136.46	7.58	0.1029
R2 - 1.0 / 2	136.84	7.97	0.1025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 1.5 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 2:1 ของฟางข้าว(R3)

ตัวอย่างชิ้นงาน ทดสอบ	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
R3 - 0.2 / 1	19.95	0.95	0.0849
R3 - 0.2 / 2	20.23	0.81	0.0833
R3 - 0.4 / 1	47.87	2.46	0.0931
R3 - 0.4 / 2	47.47	2.36	0.0935
R3 - 0.6 / 1	76.48	4.36	0.0958
R3 - 0.6 / 2	76.31	4.23	0.0967
R3 - 0.8 / 1	109.49	5.86	0.0975
R3 - 0.8 / 2	109.76	5.96	0.0965
R3 - 1.0 / 1	138.46	8.31	0.1003
R3 - 1.0 / 2	137.84	7.97	0.1010

ตารางที่ ข 1.6 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1:1 ของหญ้าแฝก(G1)

ตัวอย่างชิ้นงาน ทดสอบ	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
G1 - 0.2 / 1	14.29	0.89	0.0807
G1 - 0.2 / 2	13.98	0.81	0.0815
G1 - 0.4 / 1	34.69	1.76	0.0869
G1 - 0.4 / 2	34.89	1.80	0.0860
G1 - 0.6 / 1	57.43	2.97	0.0890
G1 - 0.6 / 2	57.38	2.89	0.0898
G1 - 0.8 / 1	83.35	4.84	0.0842
G1 - 0.8 / 2	83.38	4.89	0.0838
G1 - 1.0 / 1	109.63	7.77	0.0906
G1 - 1.0 / 2	108.73	6.21	0.0853

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 1.7 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1.5:1 ของหญ้าแฝก(G2)

ตัวอย่างชิ้นงาน ทดสอบ	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
G2 - 0.2 / 1	18.15	0.99	0.0793
G2 - 0.2 / 2	18.25	1.02	0.0789
G2 - 0.4 / 1	39.88	1.81	0.0862
G2 - 0.4 / 2	40.10	1.90	0.0860
G2 - 0.6 / 1	63.69	3.47	0.0947
G2 - 0.6 / 2	64.07	4.64	0.0914
G2 - 0.8 / 1	87.23	5.39	0.0897
G2 - 0.8 / 2	87.33	5.49	0.0887
G2 - 1.0 / 1	113.49	7.05	0.0887
G2 - 1.0 / 2	113.84	7.08	0.0885

ตารางที่ ข 1.8 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 2:1 ของหญ้าแฝก(G3)

ตัวอย่างชิ้นงาน ทดสอบ	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
G3 - 0.2 / 1	18.76	1.15	0.0783
G3 - 0.2 / 2	19.23	1.18	0.0770
G3 - 0.4 / 1	41.42	2.63	0.0796
G3 - 0.4 / 2	41.51	2.66	0.0853
G3 - 0.6 / 1	60.59	3.65	0.0867
G3 - 0.6 / 2	61.20	4.23	0.0847
G3 - 0.8 / 1	67.47	4.04	0.0854
G3 - 0.8 / 2	67.54	4.06	0.0854
G3 - 1.0 / 1	90.79	5.96	0.0893
G3 - 1.0 / 2	90.84	6.97	0.0863

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### การทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน

ตารางที่ ข 1.1 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1:1  
ของฟางข้าว(R1)และหญ้าแฝก(G1)

ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ R1		ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ G1	
ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)	ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
0.95	0.0849	0.89	0.0807
0.81	0.0833	0.81	0.0815
2.51	0.0929	1.76	0.0869
2.58	0.0935	1.80	0.0860
4.03	0.0967	2.97	0.0890
4.23	0.0967	2.89	0.0898
5.86	0.0989	4.84	0.0842
6.20	0.1010	4.89	0.0838
7.74	0.0930	7.77	0.0906
7.97	0.0935	6.21	0.0853

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ 1.2 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1.5:1  
ของฟางข้าว(R2)และหญ้าแฝก(G2)

ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ R2		ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ G2	
ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)	ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
1.06	0.0825	0.99	0.0793
1.02	0.0850	1.02	0.0789
2.33	0.0935	1.81	0.0862
2.58	0.0920	1.90	0.0860
3.86	0.0929	3.47	0.0947
4.23	0.0959	4.64	0.0914
5.73	0.0953	5.39	0.0897
5.49	0.1029	5.49	0.0887
7.58	0.1025	7.05	0.0887
7.97	0.1039	7.08	0.0885

ตารางที่ ซ 1.3 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1:1  
ของฟางข้าว(R3)และหญ้าแฝก(G3)

ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ R3		ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ G3	
ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)	ความหนา (mm)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
0.95	0.0789	1.15	0.0783
0.81	0.0836	1.18	0.0770
2.46	0.0935	2.63	0.0796
2.36	0.0931	2.66	0.0835
4.36	0.0967	3.65	0.0847
4.23	0.0958	4.23	0.0847
5.86	0.0965	4.04	0.0854
5.96	0.0975	4.06	0.0854
8.31	0.1010	5.96	0.0863
7.97	0.1003	6.97	0.0893

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ฅ**  
**การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน**

$$SD = \sqrt{\left(\frac{Xi - \bar{X}}{n}\right)^2}$$

$SD$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$Xi$  คือ ค่าของข้อมูลในตัวที่  $i$

$\bar{X}$  คือ ค่ากลางของข้อมูล

$n$  คือ จำนวนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้